

В. А. МИХАЙЛОВ

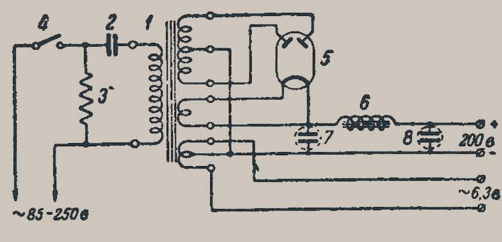
РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ДРОССЕЛЕЙ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

РЕЗОНАНСНЫЕ СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Применение резонансных силовых трансформаторов, входящих в схему питающей части, обеспечивает постоянный режим работы установки при значительных изменениях сетевого напряжения в пределах 85—250 *в*. Схема выпрямителя с резонансным трансформатором приведена на фиг. 1. Первичную обмотку резонанс-



Фиг. 1.

ного трансформатора рассчитывают (см. гл. 1) на минимальное значение сетевого напряжения 80—90 *в*. Величина индуктивности первичной обмотки определяется по формуле:

$$L = 350\,\frac{w_1^2 Q_c \cdot 10^{-8}}{l_c},$$

где w_1 — число витков первичной обмотки;
Q_c — площадь поперечного сечения сердечника в *см*²;
l_c — средняя длина магнитной силовой линии в *см*.

Величина индукции B_m в этом случае составляет 10 000 *гс*, Последовательно с первичной обмоткой включают конденсатор *2*, обеспечивающий резонанс на частоте переменного тока в сети 50 *гц*. Емкость конденсатора *2* определяется по формуле:

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{98\,596 \cdot L}.$$

Сопротивление *3* предусмотрено в схеме для обеспечения разряда конденсатора *2* при выключении выпрямителя.

Конденсаторы, составляющие емкость *2*, должны быть хорошего качества, с высокой изоляцией. Наиболее подходят для этой цели конденсаторы телефонного типа с бумажным диэлектриком на 1 000 *в* испытательного напряжения. Электролитические конденсаторы для этой цели не подходят.

После сборки выпрямителя необходимо точным подбором емкости 2 добиться получения резонанса на частоте 50 *гц*. При наступлении резонанса резко повышается напряжение на зажимах первичной обмотки, примерно до 225—230 . Это происходит при сетевом напряжении не менее 85—90 *в*. В дальнейшем при изменении напряжения в сети напряжение на зажимах первичной обмотки не изменяется.

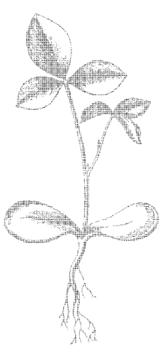
(*продолж. на 3 стр. обложки*)

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 31

В. А. МИХАЙЛОВ

РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ДРОССЕЛЕЙ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

В книге дается элементарный расчет силовых и выходных трансформаторов и дросселей для сглаживающих фильтров и катушек возбуждения для динамиков. Приводятся простые схемы для испытания изготовленных трансформаторов и дросселей (определение наличия короткозамкнутых витков, проверка индуктивности дросселя с постоянным подмагничиванием) В справочном отделе приводятся данные обмоточных проводов для трансформаторов и дросселей, данные фабричных дросселей и трансформаторов и другой необходимый для расчетов материал.

Книга предназначается для подготовленных радиолюбителей.

Редактор **Д. А. Конашинский** Техн. редактор **С. Н. Бабочкин**

Сдано в набор 6/I 1949 г. Подписано к печати 13/VII 1949 г.
Объем 5,5 п. л., уч.-авт. л. 5,5 Формат бумаги $84 \times 108^{1}/_{32}$
А-07832 Тираж 25 000 экз. Тип. зн. в 1 п. л. 40 000 Зак. 2005

Типография Госэнергоиздата. Москва Шлюзовая наб. 10.

ВВЕДЕНИЕ

1. Назначение трансформаторов и дросселей. Трансформаторы и дроссели со стальным сердечником являются неотъемлемыми деталями радиоприемников, усилителей и передатчиков.

Трансформаторы используются: а) для трансформации напряжения или тока в выпрямительных устройствах, служащих для питания радиоаппаратуры,—в этом случае они называются силовыми трансформаторами; б) для связи между низкочастотными усилительными каскадами, — в этом случае они называются междуламповыми трансформаторами; в) для согласования сопротивления нагрузки (например, громкоговорителя) с внутренним сопротивлением ламп оконечного каскада — так называемые выходные трансформаторы и г) для согласования сопротивления микрофона с входом усилителя — в этом случае они называются микрофонными трансформаторами.

Дроссели с сердечниками из мягкой стали используются: а) для сглаживания пульсаций в схемах фильтров выпрямителей и других питающих устройств; б) в качестве индуктивных нагрузочных элементов в анодных и сеточных цепях каскадов усиления низкой частоты.

2. Устройство и принцип работы трансформаторов. Трансформатор состоит из нескольких (двух или больше) обмоток, выполненных на каркасе, и сердечника из мягкой стали, на который надевается каркас с обмотками. Схема трансформатора приведена на фиг. 1.

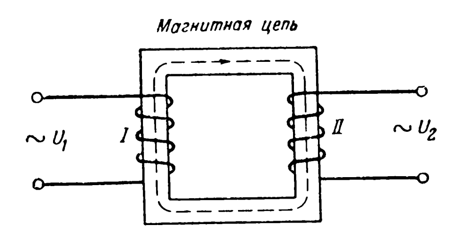
Принцип работы трансформатора состоит в следующем. Если к одной из обмоток подвести переменное напряжение, то ток, проходящий через эту обмотку, которую мы назовем первичной, создаст в сердечнике переменный магнитный поток, который, пронизывая витки вторичной обмотки, индуктирует в ней э. д. с.

Индуктированная в любой обмотке э. д. с. зависит от величины магнитной индукции B_m, площади поперечного сечения сердечника Q_c, числа витков обмотки w и частоты переменного тока f.

Для трансформатора без потерь справедливо следующее соотношение:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2,$$

где U_1 и I_1 — напряжение и ток первичной обмотки;
U_2 и I_2 — напряжение и ток вторичной обмотки.



Фиг. 1. Схема трансформатора.

Эти соотношения показывают, что мощность первичной обмотки $P_1 = U_1 I_1$ равна мощности $P_2 = U_2 I_2$, потребляемой со стороны вторичной обмотки. Практически в трансформаторах имеют место потери, складывающиеся из потерь в сердечнике (потери в стали) и потерь в обмотках (потери в меди), и поэтому в реальном трансформаторе всегда $P_1 > P_2$.

Отношение напряжений в обмотках трансформатора зависит от отношения числа витков его первичной и вторичной обмоток. Отношение высшего напряжения к низшему называется **коэффициентом трансформации** и обозначается обычно через n, т. е.:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = n.$$

Соответственно для токов можно написать

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{n}.$$

Отсюда следует, что

$$U_1 = U_2 \cdot n$$

и

$$I_1 = \frac{I_2}{n}.$$

Приведенные соотношения позволяют привести (пересчитать) напряжения и токи, действующие во вторичной обмотке трансформатора, к первичной обмотке и тем самым дают возможность легко определять действующие в обмотках электрические величины (напряжение, ток и т. д.). Этим свойством трансформатора широко пользуются, например, в усилителях низкой частоты для приведения сопротивления нагрузки (телефон, репродуктор, рекордер) к величине, наиболее благоприятной для анодной цепи усилительной лампы, и для согласования сопротивлений, например, сопротивления микрофона и входного сопротивления усилителя и т. д. Сводка формул соответствующих пересчетов приведена в табл. 1.

Таблица 1

№ по пор.	Что пересчитывается	Цепь первичной обмотки	Цепь вторичной обмотки	Пересчитанная или приведенная величина из вторичной обмотки в первичную
1	Напряжение	U_1	U_2	$U_2 \cdot n$
2	Ток	I_1	I_2	$\frac{I_2}{n}$
3	Сопротивление	R_1	R_2	$R_2 \cdot n^2$

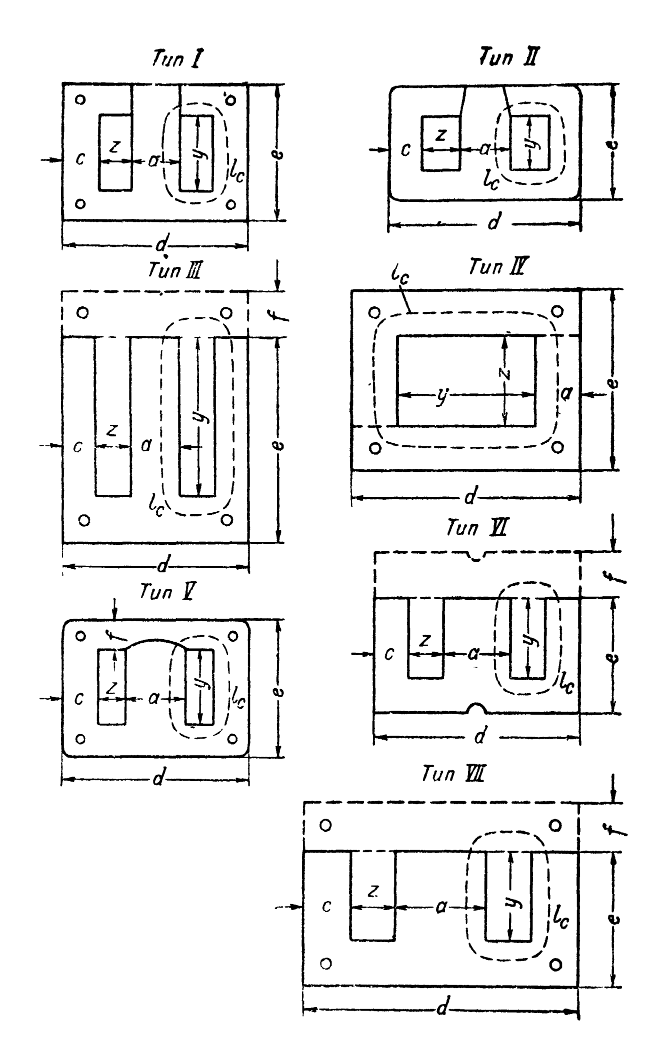
Применение пересчетов величин из вторичной обмотки трансформатора в первичную обмотку проследим на примерах.

Пример 1. Для питания ламп используется трансформатор с коэффициентом трансформации $n = 15$. На зажимах вторичной обмотки трансформатора действует напряжение $U_2 = 8$ *в*. Определить напряжение U_1, которое должно быть подведено к первичной обмотке.

Для определения величины U_1 пользуемся формулой для $U_1 = U_2 \cdot n$, подставляя в которую числовые величины, определяем

$$U_1 = 8 \cdot 15 = 120 \text{ в}.$$

Пример 2. Ток I_2 в цепи вторичной обмотки трансформатора равен 6 *а*, коэффициент трансформации $n = 15$.



Фиг. 2. Образцы штампованных пластин.

Определить ток I_1 в первичной обмотке. Для определения пользуемся формулой

$$I_1 = \frac{I_2}{n}.$$

Подставляя числовые величины, находим $I_1 = \frac{6}{15} = 0,4\, a$.

Пример 3. В оконечном каскаде усилителя низкой частоты работает лампа типа УО-186, для которой наивыгоднейшая величина анодной нагрузки R_1 составляет 2 500 *ом*. Оконечный каскад должен питать динамический громкоговоритель, имеющий сопротивление звуковой катушки $R_2 = 10$ *ом*. Определить коэффициент трансформации выходного трансформатора. Для определения коэффициента трансформации пользуемся формулой $R_1 = R_2 \cdot n^2$. Так как $R_1 = 2\,500$ *ом* и $R_2 = 10$ *ом*, то коэффициент трансформации

$$n = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = \sqrt{\frac{2\,500}{10}} = 15,8 \approx 16.$$

3. Конструктивное оформление трансформаторов. Сердечники трансформаторов собирают из отдельных пластин, которые штампуют из листовой высоколегированной трансформаторной стали марок Э-3-А и Э-4-А, толщиной 0,35 и 0,5 *мм* (ГОСТ 802-41). Трансформаторные пластины, из которых собирают сердечники, штампуют в виде буквы Ш или в виде буквы Г. Образцы штампованных пластин производства различных заводов приведены на фиг. 2, а размеры их приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ по пор.	Тип пластин	Марка пластин	Размеры пластин в *см*								Толщина пластин в *мм*
			a	*z*	*y*	*d*	*e*	*c*	*f*	l_c	
1	I	Ш-19	1,9	1,4	4,0	7,2	6,2	1,1	—	15	0,35
2	II	Ш-19	1,9	1,6	2,5	7,4	4,6	1,1	—	12	0,35
3	III	Ш-19	1,9	1,6	4,6	7,6	5,8	1,2	1,2	16	0,35
4	III	Ш-30	3,0	1,4	4,5	9,0	6,0	1,6	1,6	18	0,35
5	III	Ш-20	2,0	1,6	5,7	7,4	7,0	1,2	1,2	19,6	0,35
6	IV	Г-24	2,4	2,2	6,0	11	7,0	—	—	26	0,35
7	V	Ш-35	3,5	1,4	4,9	9,8	8,2	1,8	—	19	0,35
8	V	Ш-30	3,0	1,9	6,7	10	10	16	—	24	0,35
9	V	Ш-19	1,9	1,5	4,5	7,6	7,0	1,2	—	16	0,35
10	V	Ш-25	2,5	2,5	6,0	10,5	9,0	1,5	—	23	0,35
11	VI	Ш-32	3,2	1,5	4,6	9,6	6,5	1,7	1,7	18,8	0,35
12	VII	Ш-25	2,5	3,0	5,7	12	7,5	1,7	1,7	20	0,35
13	VII	Ш-32	3,2	3,5	7,2	14	9,0	1,9	1,9	29	0,5
14	VII	Ш-30	3,0	2,7	5,4	12,5	7,5	2,0	2,0	16,7	0,35

Сердечник, собранный из Ш-образных пластин, называется броневым; сердечник, собранный из Г-образных пластин, называется стержневым. Вид собранных сердечников указанных типов показан на фиг. 3.

Из выбранных штампованных пластин необходимо плотно набить пакет необходимой толщины. Штампованные пластины с одной стороны должны быть оклеены тонкой папиросной бумагой или окрашены лаком, что способствует уменьшению потерь в стали.

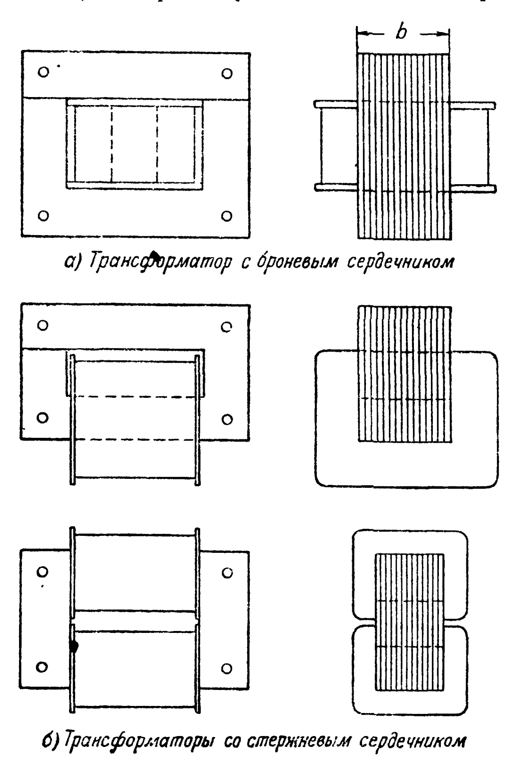
При сборке для стягивания собранного сердечника используют шпильки с резьбой диаметром $4 \div 5$ *мм* и лапки в виде угольников или пластин из железа толщиной $1 \div 2$ *мм*.

При стягивании сердечника необходимо на шпильки одеть гильзы из бумаги или другого изоляционного материала, под угольники или пластины вырезать подкладки из тонкого прессшпана или картона толщиной $0{,}4 \div 0{,}6$ *мм*. Все это способствует уменьшению потерь в сердечнике и, следовательно, улучшению работы трансформатора или дросселя.

Обмотки трансформаторов с броневыми сердечниками обычно наматывают на каркасе, располагаемом на среднем стержне. Обмотки трансформаторов со стержневыми сердечниками наиболее часто наматывают также на одном каркасе. Иногда при наличии трудностей в размещении всех обмоток на одном каркасе практикуют размещение их на двух каркасах, надеваемых на оба стержня сердечника. В этом случае на каждом каркасе размещают по половине витков как первичной, так и вторичной обмоток. При сборке трансформатора соответствующие обмотки соединяются последовательно.

Каркас для обмоток обычно склеивается из прессшпана или плотного картона. Порядок изготовления простого каркаса показан на фиг. 4 и состоит в следующем. По размеру пакета сердечника с допуском плюс $0{,}3 \div 0{,}5$ *мм* изготовляют из сухого дерева (сосна, береза) оправку. Затем из плотной бумаги или плотного картона вырезают полоску шириной, соответствующей размеру y с допуском минус $0{,}5 \div 1$ *мм*. Длина полоски должна быть достаточна для намотки нескольких слоев на оправку и получения шпульки со стенками толщиной $1 \div 3$ *мм* для маломощных трансформаторов и с толщиной стенок порядка $2 \div 5$ *мм* для трансформаторов

средней мощности. Наматываемые на оправку слои бумаги или картона проклеиваются столярным или иным клеем. После этого из прессшпана или плотного картона вырезают по размеру окна — «щечки», с допуском минус 0,5 ÷ 1 *мм*, которые при помощи клея приклеивают

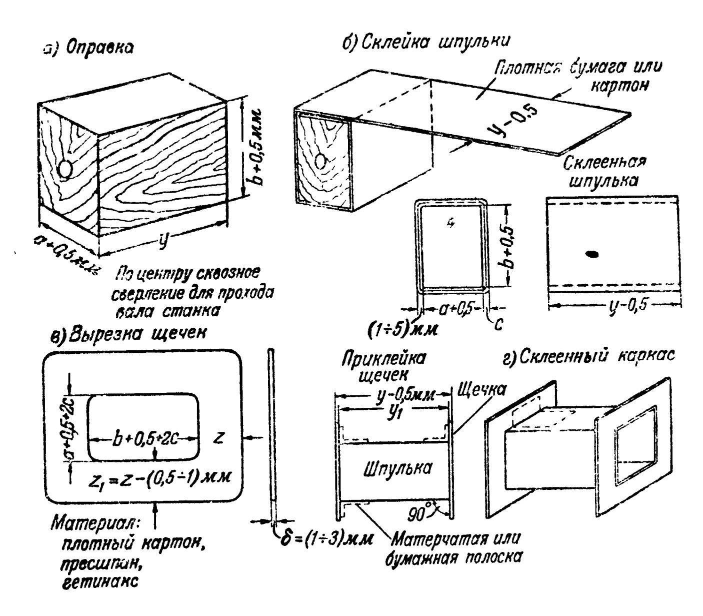


Фиг. 3. Виды конструктивного оформления трансформаторов.

к шпульке. Щечки должны быть приклеены прочно и без перекосов. В ряде случаев для лучшего закрепления щечек на шпульке практикуют наклейку на шпульку и щечки бумажных или матерчатых полосок. Каркас после склейки просушивают и для повышения изоляции покрывают шеллачным или бакелитовым лаком

Обмотки трансформаторов для выпрямителей и для цепей звуковой частоты (выходные, междуламповые),

работающих под относительно небольшими напряжениями (до 500 ÷ 700 *в*), обычно не секционируются и располагаются на каркасе одна над другой, с применением изоляционных прокладок из бумажной ленты и т. п. Для трансформаторов, работающих под более высокими напряжениями, принято обмотки секционировать. Секцио-

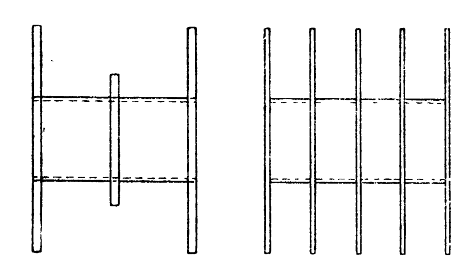


Фиг. 4. Изготовление простого каркаса.

нирование осуществляется разделением каркаса на секции промежуточными щечками или намоткой отдельных секций в виде галет, собираемых затем на каркасе.

Практикуют секционирование: а) у силовых трансформаторов вторичной (повышающей) обмотки для повышения надежности работы и защиты от пробоев изоляции; б) у выходных трансформаторов для двухтактных каскадов первичной обмотки для получения симметричности половин обмотки, включаемых в анодные цепи ламп; в) у междуламповых трансформаторов первичной, вторичной или обеих обмоток для уменьшения собственной емкости обмоток; г) у дросселей, работающих в качестве элементов нагрузки в цепях анодов и сеток,

обмотка секционируется для уменьшения собственной емкости. Число секций обычно выбирают произвольным — от двух и более. Образцы каркасов и шпулек для секционированных обмоток показаны на фиг. 5. В последнее время находит применение бескаркасная намотка трансформаторов. В этом случае обмотки наматывают на шпульки без щечек. Шпулька для бескаркасных трансформаторов склеивается точно так же, как и для обычных каркасов (фиг. 4,б). Обмотки укладываются на шпульку рядами, друг над другом, с применением изоля-

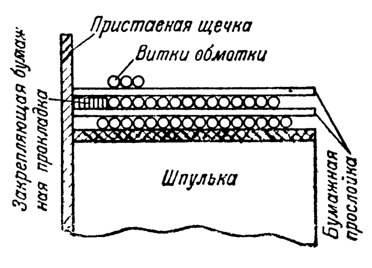


Фиг. 5. Секционированные каркасы

ционных прокладок. Для предотвращения сползания витков обычно в каждом последующем ряду (слое) наматывают на несколько витков меньше. Так как при намотке обычно применяют для удобства приставные щечки, то остающиеся промежутки для закрепления витков заполняют узкими бумажными прокладками (фиг. 6).

Расположение обмоток. У силовых трансформаторов малой и средней мощности наиболее часто первой укладывается первичная обмотка, затем вторичная (высоковольтная) обмотка и сверху накальные обмотки. У промышленных образцов иногда первой наматывается первичная сетевая обмотка, затем накальные обмотки, а сверху вторичная (высоковольтная) обмотка. Подобное расположение обмоток обеспечивает лучшее охлаждение повышающей обмотки, в цепи которой может затрачиваться значительная мощность, но при этом омическое сопротивление ее получается из-за увеличения длины провода несколько большим, чем в первом случае. У несекцонированных и междуламповых трансформато-

ров обычно сначала наматывают первичную обмотку и сверху вторичную. При простом секционировании обмоток обычно сперва наматывают половину обмотки, имеющей



Фиг. 6. Конструкция бескаркасной обмотки.

наибольшее число витков, затем наматывают полностью следующую обмотку и сверху доматывают вторую половину витков первой обмотки. Если применяется секционированный каркас, то обмотки делятся на секции и обычно располагают их попеременно.

Выводы от обмоток. Выполнение выводов является ответственной частью работы при намотке трансформаторов. Выводы должны быть расположены в наиболее удобном месте, хорошо укреплены и изолированы. Наиболее часто делают выводы достаточной длины, чтобы их затем можно было бы включать согласно схеме непосредственно. В ряде случаев предусматривается переходная планка с контактными лепестками, которую крепят на щечке или на сердечнике трансформатора. Выводы от обмоток припаивают к контактным лепесткам, к которым уже припаивают монтажные провода схемы.

В радиолюбительской практике выводы от обмоток, выполняемых проводом диаметром не менее 0,5 *мм*, обычно делают тем же проводом, выпускаемым из щечки на 10—15 *см*. От обмоток, выполняемых проводами диаметром до 0,5 *мм*, выводы обычно делаются гибким изолированным проводом, например: марки АТС-Ш, ШК-3. В некоторых случаях выводы от обмоток делаются шинками из листовой красной меди или латуни толщиной 0,3 ÷ 0,5 *мм* и шириной 3 ÷ 5 *мм*.

Выводные концы обмоток маркируются (т. е. условно обозначаются). Для маркировки наиболее часто приме-

няют цифры, которыми обозначают выводы обмоток согласно схеме трансформатора, или цветной код. Применение смешанных буквенно-цифровых обозначений допустимо только для трансформаторов с малым числов выводов. При распределении выводов необходимо учитывать конструктивное расположение трансформатора в аппарате с тем, чтобы для удобства монтажа выводы от обмоток приходились на одной стороне.

Провода для обмоток. Диаметр провода для обмоток трансформаторов определяется расчетом, который будет рассмотрен ниже. Для обмоток наиболее часто используется медный провод с эмалевой изоляцией, отличительными качествами которой являются малая толщина изолирующего слоя и теплостойкость.

Заводами кабельных изделий выпускаются провода следующих марок:

1. Провод ПЭ или ПЭН — с нормальными качествами эмали.

2. Провод ПЭЛ — с лакостойкой эмалевой изоляцией.

3. Провод ПЭТ — с термостойкой эмалевой изоляцией.

В радиолюбительской практике более целесообразно применять (с точки зрения повышения надежности и срока службы трансформатора) провода марок ПЭЛ и ПЭТ. Накальные обмотки наматывают также проводом в хлопчатобумажной изоляции (ПБО, ПБД) и в комбинированной изоляции (ПЭБО, ПЭБД, ПЭШО и др.) При подборе проводов и поверочном расчете размещения обмоток следует учитывать толщину изоляции провода. Данные о толщине изоляции для проводов различных марок можно найти в сортаменте проводов (см. справочный отдел, табл. 11).

Пропитка трансформаторов. Катушки трансформаторов после намотки пропитывают в расплавленной изоляционной массе, называемой компаундом. Междуламповые, выходные и силовые трансформаторы малой мощности пропитывают компаундом, состоящим из воска или церезина в количестве 70% и канифоли 30% (компаунд № 1). При застывании этот компаунд приобретает вид плотной полупрозрачной массы. Выходные и силовые трансформаторы средней мощности, наиболее часто используемые в радиолюби-

тельской практике, пропитывают компаундом, состоящим из воска в количестве 30%, канифоли 20% и битума 50% (компаунд № 2). Этот компаунд при застывании приобретает вид черной плотной блестящей массы. Пропитка компаундом производится в сосуде, куда опускается намотанная катушка. Ее держат в компаунде до тех пор, пока не перестанут выделяться пузырьки воздуха Затем катушку вынимают и дают стечь излишку компаундной массы. В некоторых случаях пропитывают обмотки компаундом после сборки сердечника, опуская в расплавленную компаундную массу уже собранный трансформатор.

Пропитка компаундом создает благоприятные условия для охлаждения обмоток (так как ликвидируются воздушные промежутки между обмотками) и предотвращает возможность смещения витков обмоток при включении трансформатора, в конечном счете приводящего к появлению короткозамкнутых витков. Пропитка также защищает обмотки от действия сырости.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

1. Расчет силовых трансформаторов. Электрический расчет силовых трансформаторов для используемых в радиолюбительской практике питающих устройств заключается в определении мощности трансформатора, размеров сердечника и данных обмоток — числа витков и диаметра провода.

Основные электрические величины: напряжение (эффективное) питающей сети U_1 (*в*) (напряжение первичной обмотки), величина выпрямленных высокого напряжения U_0 (*в*) и тока I_0 (*а*) в анодной цепи, напряжения (*в*) и токи (*а*) в цепи накала ламп (U_3 и I_3; U_4 и I_4), обычно известны или задаются. После электрического расчета производят поверочный конструктивный расчет для проверки размещения обмоток на каркасе.

Для расчета силового трансформатора необходимо определить следующие величины, характеризующие высоковольтную часть и которые существенно отличаются от заданных величин U_0 и I_0:

1. Эффективное напряжение U_2(*в*) вторичной обмотки.

2. Эффективный ток I_2(*а*) вторичной обмотки.

3. Мощность P_2 (*вт*), затрачиваемую в цепи вторичной обмотки.

Определение величин U_2, I_2 и P_2 для различных схем производится по формулам, приведенным в табл. 3, где R_0 — внутреннее сопротивление выпрямительной лампы (в *омах*) и $R_д$ — омическое сопротивление обмотки дросселя (в *омах*).

Согласно электрическим данным производится подсчет мощностей, затрачиваемых в цепях обмоток.

1. Мощность, потребляемая из сети первичной обмоткой, определяется как сумма мощностей всех остальных

Таблица 3

Схема выпрямителя	Вид выпрямительных ламп	U_2 в	I_2 а	P_2 вт
	Кенотрон Газотрон	$2,22\ U_0$	$1,6I_0$	U_2I_2
	Кенотрон Газотрон	$2,22\cdot(U_0 + I_0R_0 + I_0R_д)$	$0,8I_0$	$0,7U_2I_2$
	Кенотрон	$1,5\ U_0 + 3,7I_0R_0 + 1,5I_0R_д$*	$\sim1,2I_0$	$0,7U_2I_2$
	Кенотрон	$1,5\ U_0' + 7,4I_0R_0 + 1,5I_0R_д$*	$1,4I_0$	U_2I_2

* Формулы для расчета напряжения U_2 второй обмотки предложены инж. Г. В. Войшвилло. См. книгу Г. В. Войшвилло „Питание радиоприемников и усилителей" (Связьтехиздата, М., 1936, стр. 94).

обмоток трансформатора, умноженная на постоянный коэффициент 1,1, учитывающий потери в трансформаторе.

$$P_1 = 1,1(P_2 + P_3 + P_4 + \ldots),$$

где P_1 — мощность первичной обмотки в *вт*;
P_2 — мощность вторичной обмотки в *вт*;
P_3 — мощность обмотки накала выпрямительной лампы в *вт*;
P_4 — мощность обмотки накала ламп в *вт*.

2. Мощность в цепи вторичной повышающей обмотки определяется по формулам, указанным в табл. 3. Эта мощность равна произведению из напряжения U_0 плюс падение напряжения в сглаживающем дросселе и в выпрямительной лампе на ток I_0.

3. Мощность в цепи накала ламп определяется по напряжению в цепи накала и суммарному току, потребляемому лампами на накал: $P_3 = U_3 I_3$.

4. Мощность в цепи накала выпрямительных ламп определяется, как и в предыдущем случае: $P_4 = U_4 I_4$.

5. После определения мощности трансформатора находят площадь сечения сердечника, исходя из размеров выбранных штампов трансформаторных пластин. При выборе штампов руководствуются следующими соображениями. В случае малых трансформаторов, мощностью до 20—30 *вт*, допустимо использовать пластины Ш-19 и Ш-20, т. е. I, II, III и V типы малых трансформаторных пластин (см. табл. 2). Для трансформаторов мощностью от 30 до 100 *вт* обычно используют трансформаторные пластины Ш-19 ÷ Ш-32, т. е. III, IV, V и VI типов. Для трансформаторов мощностью от 100 до 150 *вт* используют пластины VI и VII типов, т. е. Ш-30 и Ш-32.

Сечение сердечника трансформатора Q_c определяется по формуле

$$Q_c = \frac{0{,}45 P_1}{z y F_m},$$

где Q_c — сечение сердечника в *см*²;
P_1 — мощность трансформатора в *вт*;
z и y — размеры окна трансформаторной пластины в *см*;
F_m — коэффициент заполнения окна трансформатора обмотками.

Коэффициент заполнения F_m представляет отношение площади меди в окне к площади окна zy сердечника. Величина F_m зависит от площади окна, толщины изоляции провода, величины напряжения на зажимах обмоток, числа обмоток и числа выводов у трансформатора. Чем больше площадь окна zy, чем меньше толщина изоляции провода, чем меньше напряжение на зажимах обмоток, чем меньше изоляционных прокладок

между обмотками, тем большее число витков можно разместить в окне и, следовательно, тем больше будет F_m, и наоборот. Практические величины F_m для проводов с эмалевой изоляцией (марок ПЭ, ПЭН, ПЭЛ, ПЭТ) составляют $0{,}2 \div 0{,}3$. Для проводов с комбинированной изоляцией (ПЭБО, ПЭШО, ПБД и др.) практические величины выбираются в пределах 0,12 — 0,25.

6. Толщина b пакета сердечника трансформатора определяется по формуле

$$b = \frac{Q_c}{0{,}9a}\ см,$$

где коэффициент 0,9 учитывает неплотность заполнения каркаса листами трансформаторной стали за счет проклейки их бумагой или покрытия лаком.

7. Число витков w_0 на вольт определяется по формуле

$$w_0 = \frac{45}{Q_c},$$

где Q_c — сечение сердечника в $см^2$.

Число витков w на вольт можно также определить и по графику фиг. 7.

8. а) Число витков w_1 первичной (сетевой) обмотки трансформатора определяется по формуле

$$w_1 = 0{,}97\ w_0 \cdot U_1.$$

б) Число витков w_2 вторичной (высоковольтной) обмотки равно

$$w_2 = 1{,}05 \cdot w_0 U_2.$$

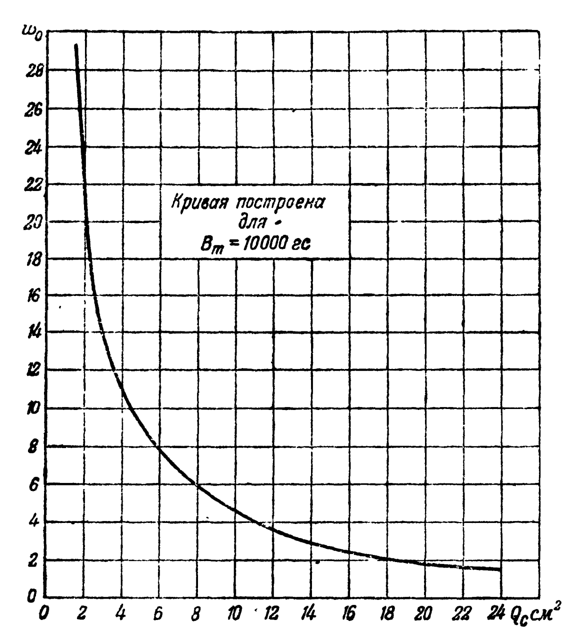
При определении числа витков вторичной обмотки принимается во внимание схема выпрямителя. Если применена двухполупериодная схема выпрямления, то предусматривается отвод от средней точки $\frac{w_2}{2}$ вторичной обмотки.

в) Число витков w_3 накальных обмоток ламп определяется по формуле

$$w_3 = 1{,}05\ w_0 U_3 \text{ и т. д.}$$

9. После нахождения числа витков необходимо определить диаметр провода каждой обмотки.

Для трансформаторов мощностью до 75 *вт* допускают плотность тока $\Delta = 2{,}5$ *а/мм*², для трансформаторов мощностью от 75 до 300 *вт* — $\Delta = 1{,}5 \div 2{,}0$ *а/мм*² и для трансформаторов мощностью от 300 *вт* и выше



Фиг. 7. График для нахождения числа витков на вольт w_0.

плотность тока не должна превосходить $1{,}3 \div 1{,}5$ *а/мм*². Диаметр провода (в *мм*) находится по формулам:

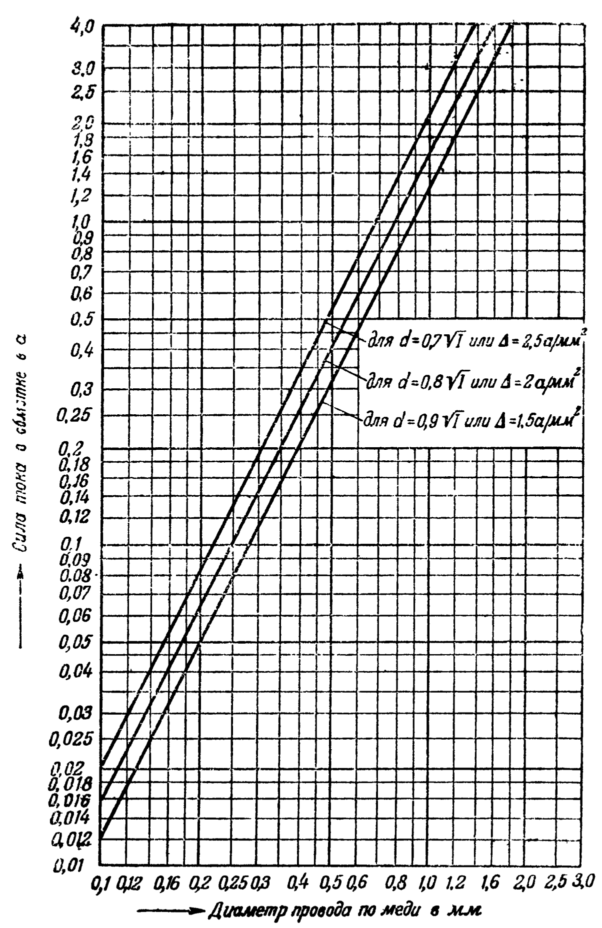
$$d = 0{,}7\sqrt{I} \quad (\text{для } \Delta = 2{,}5 \text{ а/мм}^2),$$

$$d = 0{,}8\sqrt{I} \quad (\text{для } \Delta = 2 \text{ а/мм}^2),$$

$$d = 0{,}9\sqrt{I} \quad (\text{для } \Delta = 1{,}5 \text{ а/мм}^2),$$

где ток I берется в амперах.

При определении диаметра провода обмоток необходимо брать значения токов для первичной обмотки I_1, для вторичной I_2, а для накальных обмоток соответственно I_3 и I_4.

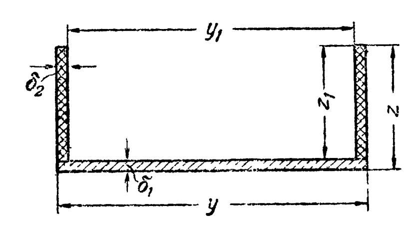


Фиг. 8. График для нахождения диаметра провода.

Диаметр провода может быть определен также по графику фиг. 8.

После определения диаметров проводов производят поверочный расчет размещения обмоток на каркасе. Для этого определяют согласно эскизу каркаса (фиг. 9) размеры z_1 и y_1 и, перемножив эти размеры, находят площадь окна $z_1 y_1$, которая будет заполнена проводом. Далее по табл. 11 находят сечения проводов по меди,

из которых будут наматываться обмотки, и по формуле $Q_{обм}' = Q_{пров} \cdot w$, где w — число витков соответствующей обмотки, находят последовательно площадь всех обмоток трансформатора. Затем, сложив полученные площади обмоток и прибавив к сумме 12—15% на толщину изоляции провода и на прокладки между обмотками, делят площадь меди всех обмоток на площадь окна $z_1 y_1$. Частное от деления этих величин даст



Фиг. 9. Эскиз каркаса.

фактический коэффициент F_m' заполнения окна. Если выполненный поверочный расчет покажет, что F_m' больше приведенных выше его практических значений F_m, то следует расчет трансформатора произвести вновь, задавшись другим исходным значением F_m, более точно определить и подобрать по сортаменту диаметры проводов обмоток, пока не будут получены необходимые результаты.

В случае, если обмотки будут наматываться виток к витку (слоями), следует определить число витков в слое по формуле

$$w_c = \frac{y_1}{d'},$$

где d' — диаметр провода в изоляции в *мм*;
y_1 — (в *мм*) — см. фиг. 9.

Число слоев обмотки определяют по формуле

$$N_c = \frac{w_{обм}}{w_c}$$

Толщина обмотки c определяется по формуле

$$c = 1{,}25\ N_c \cdot d' + (1 \div 2)\ мм,$$

где N_c — число слоев обмотки; $(1 \div 2)$ *мм* прибавляются на прокладки между слоями и на изоляцию между обмотками; 1,25 — множитель, учитывающий неплотность намотки и места, занимаемые выводами.

Определив последовательно толщину отдельных обмоток, находят общую толщину всех обмоток, которая должна быть меньше величины z_1.

Если поверочный расчет покажет, что все обмотки, наматываемые способами вразброс или виток к витку, занимают очень мало места, то это говорит о том, что тип пластин выбран неудачно. Трансформатор следует пересчитать вновь, взяв пластины меньшего размера.

2. Примеры расчета силовых трансформаторов для питающих устройств. 1. Рассчитать силовой трансформатор для двухполупериодного кенотронного выпрямителя, питающего четырехламповый радиоприемник, потребляющий ток $I_0 = 0{,}06\ a$ при напряжении $U_0 = 240\ в$. На трансформаторе должны быть предусмотрены низковольтные обмотки для питания накала кенотрона и накала ламп приемника. Нити накала ламп приемника потребляют ток $I_4 = 2{,}5\ a$ при напряжении $U_4 = 6{,}3\ в$. Напряжение питающей сети $U_1 = 120\ в$. Фильтр выпрямителя — с емкостным входом. В качестве сглаживающего дросселя включена обмотка возбуждения динамика, имеющая сопротивление $R_д = 1\,200\ ом$.

Составляем рабочую схему выпрямителя (фиг. 10).

Берем кенотрон 5Ц4С (см. табл. 12, справочный отдел), как наиболее подходящий к заданной нагрузке (допустимый ток кенотрона должен быть всегда значительно больше тока нагрузки) и по накалу.

Данные кенотрона 5Ц4С:

1. Максимальная величина переменного напряжения на 1 анод — 400 *в*.

2. Максимальный выпрямленный ток — 0,125 *а*.

3. Напряжение накала — 5 *в*.

4. Ток накала — 2 *а*.

5. Внутреннее сопротивление R_0 — 200 *ом*.

2. Для выбранной схемы выпрямителя определяем величину эффективного напряжения вторичной обмотки U_2, эффективный ток вторичной обмотки I_2 и мощность P_2. По формулам для схемы двухполупериодного выпрямителя, приведенным в табл. 3 (3-я строка), находим:

$$U_2 = 1{,}5\ U_0 + 3{,}7\ I_0 R_0 + 1{,}5\ (I_0 R_д) = 1{,}5 \cdot 240 + 3{,}7 \cdot 0{,}06 \cdot 200 + 1{,}5\ (0{,}06 \cdot 1\,200) = 512{,}4\ в \approx 512\ в.$$

Ток во вторичной обмотке определяем по формуле

$$I_2 = 1{,}2 \cdot I_0 = 1{,}2 \cdot 0{,}06 = 0{,}072\ a.$$

Мощность в цепи вторичной обмотки P_2 равна

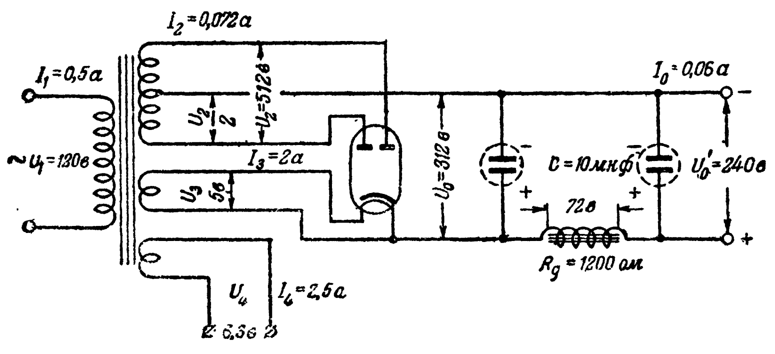
$$P_2 = 0{,}7\, U_2 I_2 = 0{,}7 \cdot 512 \cdot 0{,}072 \approx 25{,}8\ \textit{вт} \approx 26\ \textit{вт}.$$

3. Определяем мощность в цепи накала кенотрона:

$$P_3 = U_3 I_3 = 5 \cdot 2 = 10\ \textit{вт}.$$

4. Определяем мощность в цепи накала ламп приемника:

$$P_4 = U_4 I_4 = 6{,}3 \cdot 2{,}5 = 15{,}75\ \textit{вт} \approx 16\ \textit{вт}.$$



Фиг. 10. Схема кенотронного выпрямителя.

5. Общая мощность, потребляемая трансформатором из сети,

$$P_1 = 1{,}1\,(P_2 + P_3 + P_4) = 1{,}1\,(26 + 10 + 16) = 57{,}2\ \textit{вт} \approx 57\ \textit{вт}.$$

6. Ток I_1 первичной обмотки

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{57}{120} = 0{,}475\ a \approx 0{,}5\ a.$$

7. Руководствуясь указанными выше соображениями по выбору пластин для сердечника и ориентируясь на имеющиеся в распоряжении радиолюбителя штампы трансформаторных пластин, например Ш-30-V, определяют размеры пластин по данным табл. 2:

$$a = 3\ \textit{см};\ z = 1{,}9\ \textit{см};\ y = 6{,}7\ \textit{см}.$$

8. Учитывая, что трансформатор потребляет мощность $P_1 = 57$ *вт*, имеет четыре обмотки, и предполагая использовать провод в изоляции ПЭЛ, выбираем коэффициент заполнения

$$F_m = 0,2.$$

Определяем сечение сердечника трансформатора по формуле

$$Q_c \quad \frac{0,45\, P_1}{zyF_m} = \frac{0,45 \cdot 57}{1,9 \cdot 6,7 \cdot 0,2} = 10\ см^2.$$

9. Определяем толщину пакета сердечника b по формуле

$$b = \frac{Q_c}{0,9a} = \frac{10}{0,9 \cdot 3} = 3,7\ см. \text{ Берем } b = 40\ мм.$$

10. Определяем число витков на вольт w_0 по формуле

$$w_0 = \frac{45}{Q_c} = \frac{45}{10} = 4,5.$$

11. а) Определяем число витков w_1 первичной (сетевой) обмотки трансформатора по формуле

$$w_1 = 0,97\, w_0 \cdot U_1 = 0,97 \cdot 4,5 \cdot 120 = 525 \text{ витков.}$$

б) Определяем число витков w_2 вторичной (повышающей) обмотки:

$$w = 1,05 \cdot w_0 U = 1,05 \cdot 4,5 \cdot 512 = 2\,420 \text{ витков.}$$

Учитывая, что выпрямитель—двухполупериодный, предусматриваем вывод от середины вторичной обмотки $\frac{w_2}{2} = \frac{2\,420}{2}$, т. е. от 1 210 витка.

в) Определяем число витков w_3 обмотки накала кенотрона:

$$w_3 = 1,05 \cdot w_0 \cdot U_3 = 1,05 \cdot 4,5 \cdot 5 = 24 \text{ витка.}$$

г) Определяем число витков w_4 обмотки накала ламп:

$$w_4 = 1,5 . w_0 U_4 = 1,05 \cdot 4,5 \cdot 6,3 = 30 \text{ витков.}$$

От середины обмотки надо сделать отвод (среднюю точку) — вывод от 15 витка.

12. Определяем диаметр провода обмоток, приняв для рассчитываемого трансформатора мощностью 57 *вт* плотность тока Δ в обмотках 2 *а/мм*².

а) Диаметр провода первичной обмотки

$$d_1 = 0,8 \sqrt{I_1} = 0,8 \sqrt{0,5} \approx 0,57\ мм.$$

б) Диаметр провода вторичной обмотки

$$d_2 = 0{,}8 \sqrt{I_2} = 0{,}8 \sqrt{0{,}072} \approx 0{,}215 \text{ мм}.$$

в) Диаметр провода обмотки накала кенотрона

$$d_3 = 0{,}8 \sqrt{I_3} = 0{,}8 \sqrt{2} = 1{,}12 \text{ мм}.$$

г) Диаметр провода обмотки накала ламп

$$d_4 = 0{,}8 \sqrt{I_4} = 0{,}8 \sqrt{2{,}5} = 1{,}26 \text{ мм}.$$

Подсчитанные диаметры проводов относятся к медным жилам без учета толщины изоляции.

По данным справочной табл. 11 определяем, имеются ли в сортаменте необходимые диаметры проводов. Так как необходимых нам проводов нет, выбираем наиболее близкие по диаметрам и учитываем толщину изоляции для выбранного нами провода марки ПЭЛ. Для первичной обмотки наиболее близким оказывается провод диаметром 0,59 *мм* по меди и 0,63 *мм* в изоляции. Для вторичной обмотки выбираем ближайший провод диаметром 0,21 *мм* по меди и 0,23 *мм* в изоляции. Для обмотки накала кенотрона выбираем ближайший провод 1,16 *мм* по меди и 1,22 *мм* в изоляции. Для обмотки накала ламп выбираем ближайший провод диаметром 1,25 *мм* по меди и 1,31 *мм* в изоляции.

13. Проверяем размещение обмоток на каркасе. Согласно выбранному ранее штампу трансформаторных пластин (Ш-30-V) составляем эскиз каркаса (фиг. 9) и определяем площадь $z_1 y_1 = 1{,}8 \cdot 6{,}5 = 11{,}7$ *см*².

Пользуясь табл. 11 и найденными числами витков, находим площади, занимаемые обмотками:

Площадь первичной обмотки . . . . $0{,}27 \times 525 = 1{,}42$ *см*².
Площадь вторичной обмотки . . . . $0{,}035 \times 2\,420 = 0{,}85$ *см*².
Площадь обмотки накала кенотрона . $1{,}05 \times 24 = 0{,}25$ *см*²
Площадь накальной обмотки . . . . $1{,}21 \times 30 = 0{,}363$ *см*²

Общая площадь всех обмоток равна 2,9 *см*². Прибавляем, как было указано ранее, 15% на изоляцию привода и толщину прокладок, тогда занятая проводом площадь равна 3,34 *см*².

Фактический коэффициент заполнения

$$F'_m = \frac{3{,}3}{11{,}7} 0{,}28.$$

Этим результатом можно удовлетвориться.

Расчет накальных обмоток. На практике часто встречается необходимость замены радиоламп одного типа другим. Во многих случаях при такой замене ламп к нитям накала бывает необходимо подводить другое по величине напряжение, чем требовалось ранее. Если прежние лампы питались более высоким напряжением, чем вновь устанавливаемые, и накальная обмотка

позволяет снимать нужную силу тока, то излишек напряжения можно погасить при помощи сопротивления, включаемого последовательно в цепь накала. Если же новые лампы требуют более высокого напряжения, чем прежние, то задачу можно решить следующим способом.

Силовой трансформатор приемника выпаивают из схемы, снимают его с места монтажа и осторожно разбирают. Дойдя до накальной обмотки, наматываемой в подавляющем большинстве случаев поверх остальных обмоток, подсчитывают число ее витков. Разделив найденное число витков на напряжение, которое отдавала обмотка (оно определяется по типу ламп, которые работали в приемнике), определяют число витков на вольт w_0. Затем определяют число витков, которое должна иметь новая обмотка:

$$w = w_0 \cdot U_{нак}.$$

По формуле $d = 0{,}8\sqrt{I}$ или по графику фиг. 8 определяют необходимый диаметр провода. Если ранее намотанный провод подходит по диаметру, то старую обмотку можно оставить и домотать таким же проводом недостающее число витков; если же этот провод не подходит по диаметру, его следует снять и обмотку намотать новым соответствующим проводом.

Пример. Рассчитать накальную обмотку для ламп 6-вольтовой серии. Суммарный ток накала 2,2 *а*. Ранее в приемнике работали лампы 4-вольтовой серии, потребляя в сумме ток 1,6 *а*.

1. В результате подсчета витков w прежней обмотки накала установлено, что в ней 32 витка, провод диаметром 0,8 *мм*.

2. Определяем число витков на вольт:

$$w_0 = \frac{w_{обм}}{U_{нак}} = \frac{32}{4} = 8 \text{ витков.}$$

3. Определяем число витков обмотки для ламп 6-вольтовой серии:

$$w_н = 8 \cdot 6{,}3 = 50{,}4 \text{ витка. Берем } w_н = 50 \text{ витков.}$$

4. Определяем необходимый диаметр провода новой обмотки:

$$d = 0{,}8\sqrt{I} = 0{,}8\sqrt{2{,}2} = 1{,}18 \text{ мм.}$$

Так как прежний провод был диаметром 0,8 *мм*, его необходимо заменить проводом диаметром 1,18 *мм* (по меди).

Изредка встречаются трансформаторы, у которых накальные обмотки расположены внизу (т. е. намотаны первыми), и сосчитать число витков обмотки не представляется возможным. Тогда задачу можно решить, намотав новую обмотку накала, если, конечно, на каркасе есть для ее размещения место. В этом случае желательно располагать вольтметром переменного тока со шкалой на $6 \div 10$ *в*. На каркас наматывают несколько ($5 \div 8$) витков провода диаметром 0,5—1 *мм*, после чего включают трансформатор в сеть и измеряют величину получаемого от этой обмотки напряжения. Согласно результатам измерения, разделив число намотанных витков на напряжение, легко найти число витков на вольт w_0 и далее определить полное число витков накальной обмотки.

Пример. На каркас трансформатора намотано 5 витков. Вольтметр при измерении напряжения показывает 1,2 *в*.

Определяем число витков на вольт:

$$w_0 = \frac{5,0}{1,2} = 4,16.$$

Новая обмотка накала должна давать напряжение 6,3 *в* при токе нагрузки 2 *а*.

Находим число витков обмотки:

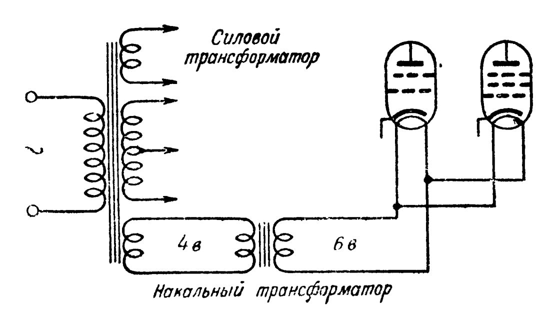
$$w_н = 1,05 \cdot w_0 U_{нак} = 1,05 \cdot 4,16 \cdot 6,3 = 27,5 \approx 28 \text{ витков}.$$

Диаметр провода обмотки определяют по формуле

$$d = 0,8 \sqrt{I} = 0,8 \sqrt{2} = 1,12 \text{ мм}.$$

Если окажется, что расположить обмотку на трансформаторе из-за отсутствия места невозможно, то нужно намотать отдельный накальный трансформатор. Так как мощность, потребляемая цепью накала ламп, обычно не велика и редко превышает в радиолюбительской практике 15—20 *вт*, габариты трансформатора получаются небольшими. Первичная обмотка накального трансформатора может быть рассчитана не на напряжение питающей сети, а на напряжение накальной обмотки силового трансформатора. Применение трансформатора с подобной первичной обмоткой вполне допустимо, если от накальной обмотки основного трансформатора можно получить ток необходимой величины. Схема включения такого трансформатора показана на фиг. 11.

Можно также применять для питания цепей накала ламп автотрансформаторы, расчет которых приводится ниже.



Фиг. 11. **Схема включения накального трансформатора.**

3. Регулировка напряжения. Автотрансформаторы. Напряжение сети, питающей трансформатор, обычно не остается постоянным. Понижение напряжения в линии может достигать 20—30%. Естественно, что если питать приемник или передатчик пониженным напряжением, то они будут работать неудовлетворительно. Питание приемника или передатчика повышенным напряжением заставит работать их лампы в форсированном режиме, что сокращает срок их службы; повышение же напряжения в сети может доходить также до +20 ÷ 30%.

Для компенсации повышения и понижения напряжения в сети обычно предусматриваются отводы от первичной обмотки трансформаторов; это позволяет включать в сеть различное число витков и таким образом сохранить нормальный режим работы выпрямителя. Обычно от первичной обмотки делается 3—5 отводов с расчетом уменьшения напряжения на каждый отвод на 5—10%. Столько же отводов предусматривается и на случай включения в сеть с повышенным напряжением. Для переключения отводов устраивается какое-либо коммутационное приспособление. В промышленных трансформаторах радиоприемников типа 6Н-1, 7Н-27, «Ленинград» и др. для этой цели имеется специальная колодка.

Радиолюбителю нередко приходится рассчитывать силовые трансформаторы, которые предназначаются для включения в сеть с напряжением 110, 127 и 220 *в*. Пер-

вичная обмотка трансформатора может быть сделана секционированной с отводами от определенного числа витков для напряжения той или иной величины. Расчет такой обмотки ведется, как было указано выше, т. е определяется число витков сперва для одного напряжения, затем для другого и т. д.:

$$w_1 = 0{,}97\ w_0 U_1;\quad w'_1 = 0{,}97\ w_0 \cdot U_2 \text{ и т. д.}$$

Диаметр провода для каждой секции трансформатора определяется по силе тока I_1, потребляемой от сети. Для сети напряжением 220 *в* сила тока I_1 при одной и той же мощности будет меньше, чем при напряжении 120 *в*, что позволит взять более тонкий провод для этой части обмотки, включаемой последовательно с основной (120 *в*). В ряде случаев для трансформаторов, предназначенных для включения в сеть с напряжением 110 и 220 *в*, первичную обмотку мотают в виде двух секций, которые соединяются параллельно при включении в сеть с напряжением 110 *в* и последовательно при включении в сеть с напряжением 220 *в*. Число витков первичной обмотки в этом случае определяется для напряжения 220 *в* и полученное число витков делится пополам (для напряжения 110 *в*). Диаметр провода обмотки определяется для тока, который будет потреблять трансформатор при напряжении 220 *в*.

Если желательно предусмотреть включение трансформатора в сеть с напряжением 127 *в*, то необходимо рассчитать дополнительную секцию на 17 *в*, учитывая при определении диаметра провода секции силу тока, которую будет потреблять трансформатор при этом напряжении.

Схемы переключения первичных обмоток показаны на фиг. 12.

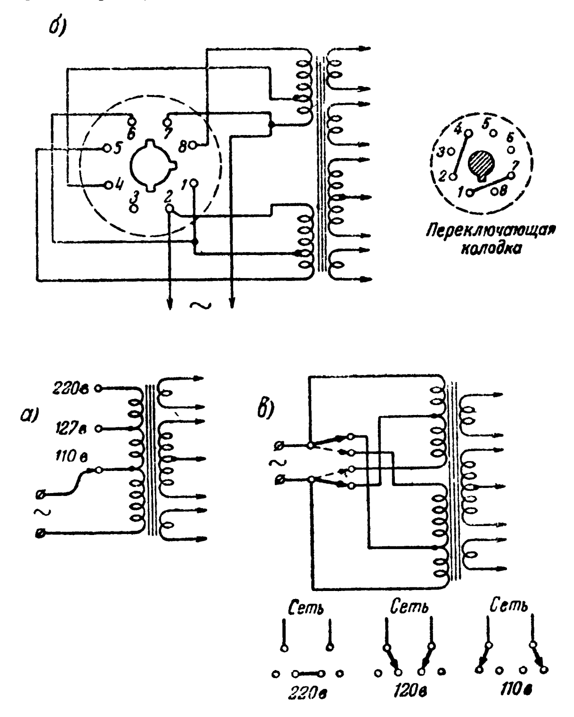
Для компенсации изменений сетевого напряжения и для питания силовых трансформаторов от сети при различных напряжениях применяют автотрансформаторы. Автотрансформаторы отличаются простотой конструкции и размеры их обычно меньше размеров питаемых трансформаторов, что объясняется тем, что автотрансформатор должен давать мощность, необходимую только для компенсации изменения напряжения сети, т. е.

$$P_{атр} = \Delta U \cdot I_н,$$

где ΔU — величина напряжения, которую должен компенсировать автотрансформатор, а $I_н$ — ток, потребляемый первичной обмоткой трансформатора при нормальном напряжении.

Различают три основных вида автотрансформаторов:

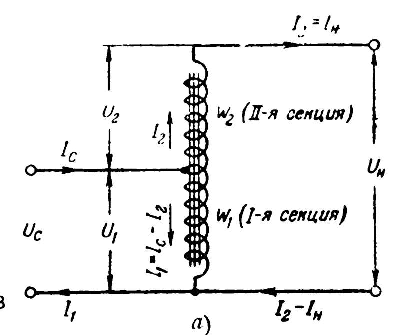
1. Повышающие автотрансформаторы, компенсирующие падение сетевого напряжения. У таких автотрансформаторов предусматривается возможность переключе-



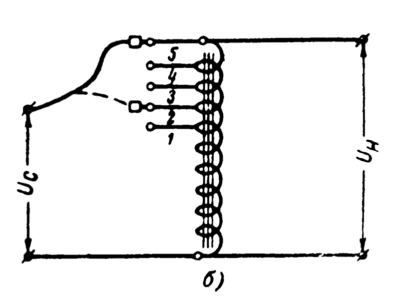
Фиг. 12. Схемы переключения первичных обмоток.

нием витков компенсировать падение напряжения в сети до 20÷30%. В ряде случаев повышающие автотрансформаторы применяются для питания аппаратуры, рассчитанной на повышенное напряжение. В этом случае, в особенности если колебания напряжения в сети незначительны, автотрансформатор может и не иметь переключения витков. Схемы автотрансформаторов без переключения витков (*а*) и с переключением их (*б*) представлены

на фиг. 13. Движок переключения при нормальном напряжении в сети должен находиться на верхнем (*5*) контакте. При уменьшении напряжения в сети движок перемещают вниз на *4*-й, *3*-й, *2*-й или *1*-й контакт в зависимости от величины понижения напряжения. Включаемая часть обмотки w_2 создает дополнительное напряжение, и в результате сложения этого напряжения с напряжением сети получается напряжение, которое должно быть подведено к первичной обмотке трансформатора.



2. Понижающие автотрансформаторы, применяемые для питания силовых трансформаторов в тех случаях, когда сетевое напряжение превышает необходимое для трансформатора напряжение. Понижающие автотрансформаторы, так же как и повышающие, могут быть сконструированы как с регулировкой напряжения (с несколькими отводами), так и без нее.



Фиг. 13. Схемы повышающих автотрансформаторов.

Схема понижающего автотрансформатора изображена на фиг. 14.

3. Автотрансформаторы, имеющие двухстороннюю регулировку напряжения, применяются в тех случаях, когда напряжение питающей сети изменяется в широких пределах и может быть как меньше, так и больше номинальной величины.

Схема такого автотрансформатора показана на фиг. 15.

Расчет автотрансформаторов любого из выше перечисленных типов разбивается на две части: 1) сначала определяют напряжения и токи в обмотках и мощность

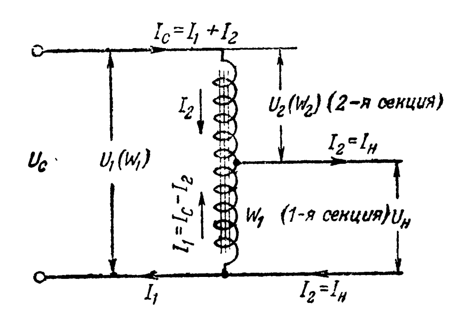
автотрансформатора и 2) производят конструктивный расчет автотрансформатора, т. е. определяют размеры сердечника и данные обмоток.

Расчет повышающего автотрансформатора по схеме фиг. 13 производится по следующим формулам.

Заданными величинами считают напряжение нагрузки $U_н$ и ток нагрузки $I_н$.

Напряжение 1-й секции

$$U_1 = U_{сети\ мин}.$$



Фиг. 14. Схемы понижающих автотрансформаторов.

Напряжение 2-й секции

$$U_2 = U_н - U_{сети\ мин}.$$

Мощность автотрансформатора

$$P_{а\ тр} = \Delta U I_н = (U_н - U_1) I_н = U_2 I_2.$$

Ток I_c сети

$$I_c = \frac{P_2}{U_c} = \frac{U_н I_н}{U_1},$$

где P_2 — потребляемая мощность.

Ток в цепи 1-й секции

$$I_1 = \frac{1{,}1 P_{а\ тр}}{U_1}$$

или

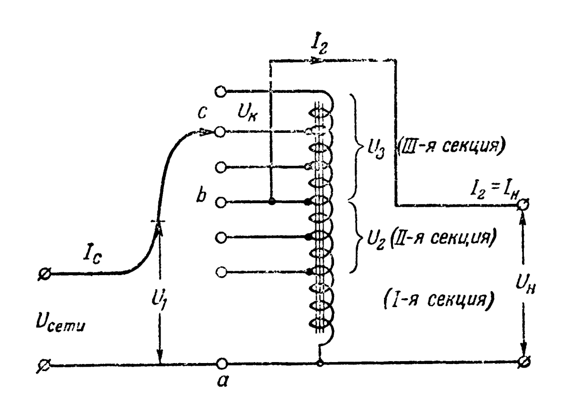
$$I_1 = I_c - I_2.$$

Ток в цепи 2-й секции

$$I_2 = I_н.$$

Для автотрансформатора с регулировкой обычно задаются величиной напряжения $U_к$ на каждый отвод от 2-й секции обмотки порядка $8 \div 10\%$ $U_н$.

Тогда число отводов $k = \frac{U_2}{U_к}$.



Фиг. 15. Схема автотрансформатора с двухсторонней регулировкой.

Расчет понижающего автотрансформатора по схеме фиг. 14 производится в следующем порядке:
$U_н$ и $I_н$ заданы.

Напряжение 1-й секции $U_н$.

Напряжение 2-й секции

$$U_2 = U_c - U_н.$$

Мощность автотрансформатора

$$P_{атр} = 1,1\ U_2 I_н = 1,1(U_c - U_н) I_н.$$

Ток I_c сети (или I_2 во 2-й секции)

$$I_c = I_2 = \frac{P_{a\,тр}}{U_c} = \frac{U_н I_н}{U_c}$$

или

$$I_c = I_2 = I_2 + I_1,$$

где I_1 — ток в 1-й секции, который находят по формуле

$$I_1 = \frac{1{,}1 P_{атр}}{U_1}.$$

Расчет трансформатора с двухсторонней регулировкой напряжения по схеме фиг. 15 производится по следующим формулам:

$U_н$ и $I_н$ заданы.

Напряжение 1-й секции

$$U_1 = U_{сети\ мин}.$$

Напряжение 2-й секции

$$U_2 = U_н - U_{сети\ мин}.$$

Напряжение 3-й секции

$$U_3 = U_{сети\ макс} - U_н.$$

Автотрансформатор рассчитывается на бо́льшую из мощностей:

$$P_{атр\ пв} = 1{,}1(U_н - U_{с\ мин}) I_н = 1{,}1\ U_2 I_н$$

или

$$P_{атв\ пн} = 1{,}1(U_{с\ макс} - U_н) I_н = 1{,}1\ U_3 I_н.$$

Когда автотрансформатор работает на повышение напряжения (точки a — b), то ток сети

$$I_c = \frac{U_н I_н}{U_{сети\ мин}},$$

ток в 1-й секции

$$I_1 = \frac{1{,}1 P_{атр\,пв}}{U_{с\,мин}} \approx I_c - I_2,$$

ток во 2-й секции

$$I_2 = I_н.$$

Когда автотрансформатор работает на понижение напряжения .(точки $a - c$), то ток сети (в 3-й секции точки $c - b$)

$$I_c = I_3 = \frac{U_н I_н}{U_{с\,макс}},$$

ток $I_2 = I_н$.

Ток в 1-й секции (точки $b - a$)

$$I_1 = \frac{P_{атр\,пн}}{U_{с\,макс}} \approx I_c - I_2.$$

После электрического расчета автотрансформатора производят конструктивный расчет.

1. Выбирают по табл. 2 подходящие штампованные пластины и определяют размеры a, z и y.

Плотность тока Δ выбирают в пределах $(2 \div 2{,}5)\ a/мм^2$. Коэффициент заполнения F_m для автотрансформаторов можно брать в пределах $0{,}15 \div 0{,}25$.

2. Определяют площадь сечения сердечника:

$$Q_c = \frac{0{,}45 P_{атр}}{zy F_m}\ см^2.$$

3. Определяют толщину пакета сердечника:

$$b = \frac{Q_c}{0{,}9\,a}\ см.$$

4. Определяют число витков на вольт:

$$w_0 = \frac{45}{Q_c}.$$

5. Определяют число витков в секциях обмотки автотрансформатора:

$$w_1 = w_0 \cdot U_1; \quad w_2 = w_0 \cdot U_2 \text{ и т. д.}$$

Если секция — регулируемая, то, наметив напряжение $U_к$, приходящееся на один отвод $[U_к = (8 - 10\%)U_н]$, определяют число отводов $k = \frac{U_2}{U_к}$ и затем число витков на отвод $w_к = \frac{W_2}{k}$; также поступают и для секции 3.

6. Определяют диаметры проводов секций обмотки, исходя из выбранной плотности тока:

$$d_1 = (0{,}7 \div 0{,}8)\sqrt{I_1}; \quad d_2 = (0{,}7 \div 0{,}8)\sqrt{I_2} \text{ и т. д.}$$

7. Проверка размещения обмоток для автотрансформаторов может быть произведена способом, описанным выше для трансформаторов.

Пример. Рассчитать автотрансформатор с двухсторонней регулировкой напряжения (по схеме фиг. 15).

Напряжение на зажимах нагрузки $U_н = 120$ *в*.

Ток нагрузки $I_н = 0{,}5$ *а*.

Напряжение сети изменяется в пределах от 80 до 140 *в*.

1. Определяем напряжения U_1, U_2 и U_3:

$U_1 = U_{сети\ мин} = 80$ *в*;
$U_2 = U_н - U_{сети\ мин} = 120 - 80 = 40$ *в*;
$U_3 = U_{сети\ макс} - U_н = 140 - 120 = 20$ *в*.

2. Определяем мощности автотрансформатора:

а) $P_{атр\ пв} = 1{,}1\ U_2 \cdot I_н = 1{,}1 \cdot 40 \cdot 0{,}5 = 22$ *вт*;
б) $P_{атр\ пн} = 1{,}1\ U_3 \cdot I_н = 1{,}1 \cdot 20 \cdot 0{,}5 = 11$ *вт*.

Следовательно, автотрансформатор нужно считать на $P_{атр\ пв} = 22$ *вт*.

3. Находим токи в секциях автотрансформатора:

а) $I_1 = \frac{P_{атр пв}}{U_{сети\ мин}} = \frac{22}{80} = 0{,}275$ *а*;

б) $I_1 = \frac{P_{атр пн}}{U_{с\ макс}} = \frac{11}{140} = 0{,}078$ *а*;

в) $I_2 = I_н = 0{,}5$ *а*.

Ток сети I_c:

а) при работе на повышение

$$I_c = \frac{U_н I_н}{U_{с\ мин}} = \frac{120 \cdot 0{,}5}{80} \approx 0{,}75\ а;$$

б) при работе на понижение

$$I_c = I_3 = \frac{U_н I_н}{U_{с\ макс}} = \frac{120 \cdot 0{,}5}{140} = 0{,}43\ а.$$

Чтобы обеспечить работу автотрансформатора при всех условиях, нужно рассчитывать обмотки: 1-й секции на ток $I_1 = 0{,}275$ *а*, 2-й секции на $I_2 = 0{,}5$ *а* и 3-й секции $I_3 = 0{,}43$ *а*.

4. Имея в виду возможность регулировки напряжения во 2-й и 3-й секциях через $U_к = 10$ *в*, находим число отводов в этих секциях:

$$k_2 = \frac{U_2}{U_к} = \frac{40}{10} = 4 \text{ и } k_3 = \frac{U_3}{U_к} = \frac{20}{10} = 2.$$

5. Для автотрансформатора мощностью порядка 20 *вт* целесообразно взять пластины Ш-19-Ш, имеющие размеры $a = 1{,}9$ *см*; $z = 1{,}6$ *см*; $y = 4{,}6$ *см*.

Выбираем плотность тока $\Delta = 2\ а/мм^2$.

Намечаем коэффициент заполнения $F_m = 0{,}2$.

6. Определяем площадь сечения сердечника:

$$Q_c = \frac{0{,}45 \cdot 22}{1{,}6 \cdot 4{,}6 \cdot 0{,}2} = 6{,}7\ см^2.$$

7. Определяем толщину пакета сердечника:

$$b = \frac{6{,}7}{0{,}9 \cdot 1{,}9} = 3{,}9\ см \approx 39\ мм.$$

8. Определяем число витков на вольт:

$$W_0 = \frac{45}{Q_c} = \frac{45}{6{,}7} = 6{,}7.$$

9. Определяем число витков в секциях:

$$w_1 = w_0 U_1 = 6{,}7 \cdot 80 = 540 \text{ витков};$$

$$w_2 = 6{,}7 \cdot 40 = 270 \text{ витков};$$

$$w_3 = 6{,}7 \cdot 20 = 135 \text{ витков}.$$

Ранее было определено число отводов в секциях:

$$k_2 = 4 \text{ и } k_3 = 2.$$

Определяем число витков для отводов:

$$w_{\kappa_2} = \frac{w_2}{k_2} = \frac{270}{4} \approx 68$$

и

$$w_{\kappa_3} = \frac{w_3}{k_3} = \frac{135}{2} \approx 68.$$

Таким образом, отводы в 2-й и 3-й секциях должны быть сделаны примерно через 68 витков.

10. Определяем диаметры проводов обмоток для $\Delta = 2$ *а/мм²*.

$$\left.\begin{aligned} d_1 &= 0{,}8\sqrt{I_1} = 0{,}8\sqrt{0{,}275} \approx 0{,}42 \text{ мм}, \\ d_2 &= 0{,}8\sqrt{I_2} = 0{,}8\sqrt{0{,}5} = 0{,}56 \text{ мм}, \\ d_3 &= 0{,}8\sqrt{I_3} = 0{,}8\sqrt{0{,}49} = 0{,}53 \text{ мм}. \end{aligned}\right\} \text{по меди.}$$

По ассортименту выбираем провода $d_1 = 0{,}41$ *мм* и $d_2 = d_3 = 0{,}55$ *м*.

В изоляции ПЭЛ провода будут иметь диаметры:

$$d'_1 = 0{,}44 \text{ мм}; \; d'_2 = d'_3 = 0{,}59 \text{ мм}.$$

Дальше производим расчет аналогично расчету трансформатора (стр. 26).

ГЛАВА ВТОРАЯ

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

1. Назначение выходных трансформаторов и требования, предъявляемые к ним. Выходные трансформаторы применяются для приведения сопротивления нагрузки, включаемой на выходе усилителя, к величине, наиболее благоприятной для ламп оконечного каскада. Нагрузкой для оконечного каскада обычно является громкоговоритель, рекордер и т. д. Величина встречающихся в радиолюбительской практике сопротивлений нагрузки обычно колеблется от нескольких ом (звуковая катушка динамика) до нескольких десятков или сотен ом (рекордер и т. д.). Наивыгоднейшая величина сопротивления, которое должно быть включено в анодную цепь лампы для получения наибольшей мощности, составляет несколько сотен или тысяч ом и зависит от типа применяемых ламп и режима их работы. С помощью трансформатора мож-

но легко обеспечить внесение в анодную цепь лампы сопротивления необходимой величины. Если ко вторичной обмотке подключено сопротивление нагрузки $R_н$, то лампа будет испытывать нагрузку $R'_a = R_н \cdot n^2$, где n — коэффициент трансформации трансформатора.

Выходной трансформатор должен обеспечить передачу энергии из анодной цепи оконечного каскада в цепь нагрузки с минимальными потерями в сравнительно широком диапазоне частот (от 50 до 7 000 ÷ 10 000 *гц*), не внося при передаче энергии частотных (линейных) и амплитудных (нелинейных) искажений. Конструктивно выходные трансформаторы имеют две обмотки и оформляются в общем так же, как и силовые трансформаторы, конструкции которых приведены в первой главе книги.

Обычно расчету выходного трансформатора предшествует электрический расчет оконечного каскада, в результате которого находят ряд величин, определяющих режим работы ламп и учитываемых при расчете трансформатора:

1) величину анодной нагрузки R'_a (в *омах*);

2) величину внутреннего сопротивления ламп R_i (в *омах*);

3) мощность выходного каскада P (в *вт*);

4) величину переменной составляющей напряжения в анодной цепи $U_{1\sim}$;

5) величину питающего анодного напряжения U_{a0};

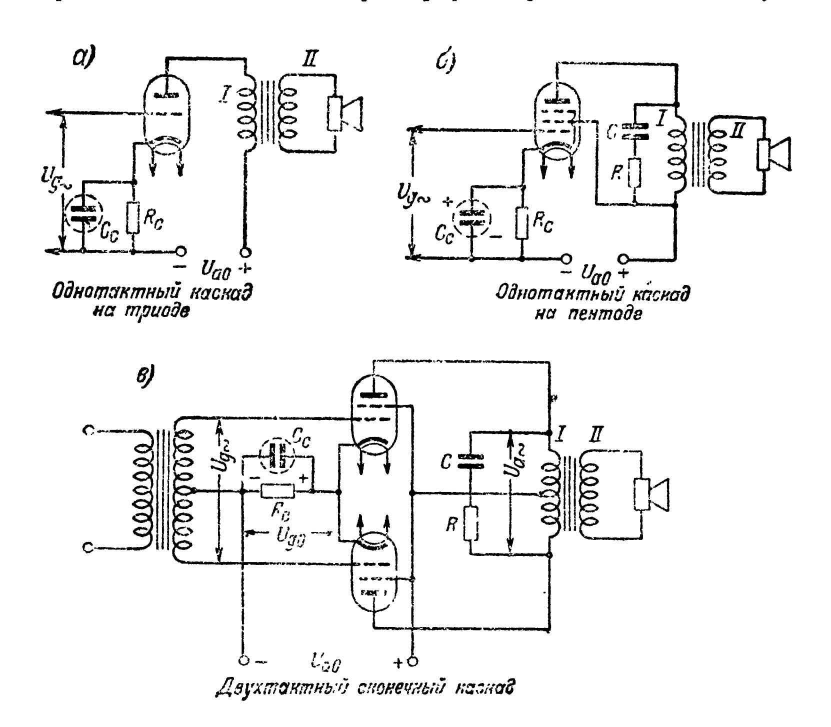
6) величину анодного тока покоя лампы I_{a0};

7) коэффициент допустимых частотных искажений на самой низкой частоте усиливаемого диапазона.

Так как изложение расчета выходных каскадов не входит в план настоящей книги, мы приводим основные схемы оконечных каскадов и таблицы (табл. 4а—4г) примерных значений анодных сопротивлений R'_a, величины напряжения $U_{1\sim}$ и т. д. для ламп, применяемых в оконечных каскадах.

Оконечные каскады осуществляются или по однотактной или по двухтактной схеме. Схемы оконечных каскадов приведены на фиг. 16. В оконечных каскадах, выполняемых по однотактной схеме (фиг. 16,*а*,*б*), выходной трансформатор всегда работает с постоянным подмагничиванием сердечника анодным током I_{a0}. В случае постоянного подмагничивания растут габариты и вес сер-

дечника и обмоток, что утяжеляет конструкцию трансформатора. Мощность однотактных выходных каскадов обычно невелика и не превышает 5—6 *вт*. В двухтактных оконечных каскадах (фиг. 16,*в*) выходной трансформатор работает без постоянного подмагничивания. Это обстоятельство в значительной степени облегчает габариты и вес выходных трансформаторов. Мощность двух-



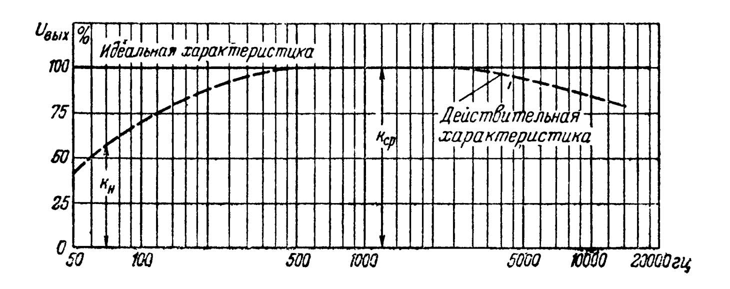
Фиг. 16. Схемы оконечных каскадов.

тактных оконечных каскадов может достигать в любительских условиях 20—30 *вт*.

В оконечных каскадах используются различные лампы, как триоды, так и лучевые тетроды и пентоды, для которых рекомендуют определенные режимы (классы) усиления, наиболее подходящие для ламп того или иного типа. В некоторых случаях, например, в предоконечных каскадах мощных усилителей, которые должны иметь

большую мощность на выходе, используются лучевые тетроды и пентоды 6Л6, 6П3, 6Ф6 и 6Ф6-С, которые включают как триоды.

Чтобы получить необходимое усиление и мощность на самой низкой частоте усиливаемого диапазона, первичная обмотка трансформатора должна иметь определенную величину индуктивности L_1. На фиг. 17 приведены идеальная и действительная частотные характеристики оконечного каскада с трансформаторным выходом. Идеальная характеристика относится к случаю, когда сопротивление нагрузки анодной цепи одинаково для всех усиливаемых частот. Действительная характеристика показывает, что усиление и мощность на низких частотах получаются меньше, чем на средней частоте. Это объясняется тем, что при понижении частоты уменьшается индуктивное сопротивление ωL_1 первичной обмотки трансформатора, шунтирующее полезную нагрузку R'_a. При уменьшении ωL_1 полное сопротивление анодной нагрузки, т. е. общее сопротивление соединенных параллельно R'_a и ωL_1, падает, что и приводит к уменьшению коэффициента усиления.



Фиг. 17. Частотная характеристика.

Для расчета необходимой величины L_1 обычно задаются допустимым коэффициентом частотных искажений на низких частотах, который представляет отношение усиления $k_{ср}$ на средней частоте к усилению $k_н$ на пограничной частоте, при которой усиление начинает изменяться, т. е. $M_н = \frac{k_{ср}}{k_н}$. При выборе коэффициента $M_н$

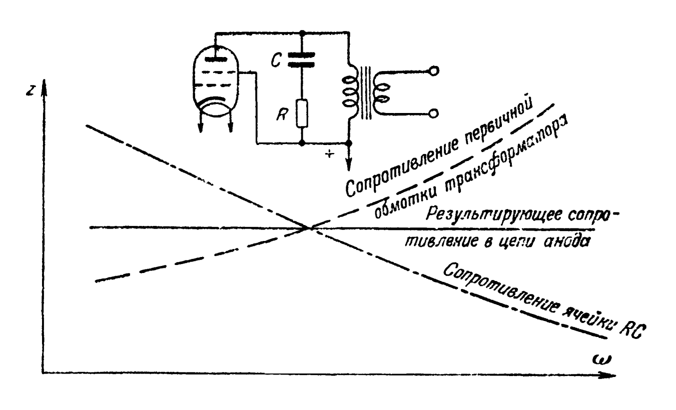
учитывают, что чем больше $M_н$, тем меньшую индуктивность L_1 может иметь первичная обмотка, что облегчает конструктивное оформление трансформатора, но ухудшает его характеристику в области низких частот (ухудшается тембр звука).

Обычно при выборе $M_н$ придерживаются приведенных в табл. 5 данных.

Таблица 5

Схема и лампы / Коэффициент	Однотактные		Двухтактные	
	Триоды	Пентоды	Маломощные	Средней мощности
$M_н$	1,25	1,25—1,5	1,05—1,1	1,03—1,05

Для получения удовлетворительной характеристики в области высоких частот в каскадах, работающих на тетродах и пентодах, имеющих большие величины R_i, первичную обмотку обычно шунтируют цепью, состоящей из последовательно включенных R и C, действие которой иллюстрируют кривые фиг. 18. Практически размеры емкости C берут в пределах 0,005—0,015 *мкф* и сопротивления R — в пределах 10 000 — 15 000 *ом*.



Фиг. 18. Действие корректирующих элементов.

2. **Расчет выходных трансформаторов**. При расчете считают заданными:

1) величину сопротивления нагрузки $R_н$;

2) величину постоянного анодного напряжения U_{a0};

3) величину анодного тока покоя I_{a0}.

По данным табл. 4 в зависимости от выбранного типа ламп и схемы оконечного каскада определяют режим работы ламп $U_{gэ}$, $I_{gэ}$, U_{g0}, $U_{g\sim}$ и вспомогательные величины, необходимые для расчета трансформатора: R'_a, $R_э$, U_1 и т. д.

Порядок расчета выходных трансформаторов следующий.

1. Определяют коэффициент трансформации n трансформатора по формуле

$$n = 0{,}95\sqrt{\frac{R'_a}{R_н}},$$

где R'_a — берется из табл. 4;

$R_н$ — сопротивление нагрузки.

Примечание. Если нагрузкой служит динамический громкоговоритель, то принимают $R_н = 1{,}2R_0$, где R_0 — сопротивление звуковой катушки постоянному току.

2. Определяют необходимую величину индуктивности (в *гн*) первичной обмотки L_1 по формуле

$$L_1 = \frac{R_э}{\omega_н\sqrt{M_н^2 - 1}}, \tag{35}$$

где $\omega_н = 2\pi f_н$ — низшая угловая частота;

$f_н$ — пограничная низкая частота.

Значение $\sqrt{M_н^2 - 1}$ можно найти из графика фиг. 19.

Выбрав по табл. 7 штампованные пластины для сердечника, приступают к конструктивному расчету трансформатора. При выборе штампа следует учитывать, что размер l_c, характеризующий среднюю длину магнитной силовой линии, существенно влияет на размеры трансформатора и данные первичной обмотки (число витков). Для выходных трансформаторов выгодно выбирать пластины с большими l_c и окном zy.

Триоды в одно

№ по пор.	Тип лампы	Напряжение накала $U_н$ в	Ток накала $I_н$ а	Анодное напряжение U_{a0} в	Анодный ток I_{a0}, а
1	УБ-132	4	0,15	160	0,015
2	УО-186	4	0,8	250	0,04
3	2А3	2,5	2,5	250	0,06
4	6Ф6 . . . . 6Ф6-С 6Ф6-М	6,3	0,7	250[2]	0,032
5	6Л6 . . . . 6Л6С 6П3	6,3	0,9	250[2]	0,04

[1] Усиление в классе (режиме) А
[2] Экранные сетки у тетродов и пентодов соединены с анодом

Триоды в двух

№ по пор.	Тип лампы	Класс усиления	Анодное напряжение U_{a0} в	Анодный ток I_{a0} а	Напряжение смещения U_{go} в
1	УО-186	AB_1	400	2×0,037	—82
2	2А3	AB_1	300	2×0,04	—62
3	2А3	AB_1	300	2×0,04	—62
4	6Ф6 . . . . 6Ф6-С 6Ф6-М	AB_2	350[2]	2×0,025	—38

[1] Смещение на сетку от отдельного источника.
[2] Экранная сетка соединена с анодом.

Таблица 4а

тактных схемах

Внутреннее сопротивление R_i *ом*	Сопротивление нагрузки R_a *ом*	Эквивалентное сопротивление $R_э = \frac{R_i R_a}{R_i + R_a}$ *ом*	Отдаваемая мощность $P_\sim$ *вт*	Напряжение смещения $-U_{go}$ *в*	Напряжение возбуждения $U_{э\sim}$ *в. эфф*
5 000	10 000	~ 3 300	0,25	—6	4,2
1 200	2 500	~ 810	1	—40	28[1]
800	2 500	~ 600	3,5	—45	31,5
2 600	4 000	~ 1 600	0,8	—20	14[1]
2 000	6 000	~ 1 500	1,3	—20	14[1]

Таблица 4б

тактных схемах

Напряжение возбуждения $U_{g\sim}$ *в. эфф*	Внутреннее сопротивление одной лампы R_i *ом*	Сопротивление нагрузки между анодами R'_a *ом*	Эквивалентное сопротивление $R_э = \frac{4R_i \cdot R_a}{4R_i + R_a}$ *ом*	Переменное напряжение на первичной обмотке трансформатора $U_\sim$ *в. эфф*	Отдаваемая мощность *P вт*
2×57,5	1 700	8 000	3 675	296	8
2×43,5	~ 1 500	3 000	2 000	174	15[1]
2×43,5	2 200	5 000	3 188	216	10
2×43	~ 3 500	10 000	5 833	252	9[2]

Лучевые тетроды и пен

№ по пор.	Тип лампы	Напряжение накала U_f в	Ток накала I_f а	Анодное напряжение U_{a0} в	Анодный ток I_{a0} а	Напряжение экранной сетки $U_{gэ}$ в
1	СБ-155	2	0,22	120	0,006	100
2	СО-244	2	0,19	120	0,004	120
3	СО-258 . . .	2	0,32	120	0,01	120
4	4П6-С (СО-122)	4	1	250	0,02	140
5	СО-187	4	2	250	0,03	250
6	6V6-С	6,3	0,45	250	0,045	250
7	25П1-С . . .	25	0,3	120	0,045	120
8	6Ф6					
	6Ф6-С	6,3	0,7	250	0,034	250
	6Ф6-М					
9	6Л6					
	6Л6С	6,3	0,9	250	0,075	250
	6П3			300	0,05	200

Лучевые тетроды и пентоды

№ по пор.	Тип лампы	Класс усиления	Анодное напряжение U_{a0} в	Анодный ток I_{a0} а	Напряжение экранной сетки $U_{gэ}$ в
1	6Ф6				
	6Ф6-С	AB_1 / AB_2	315 / 375	2×0,031 / 2×0,027	285 / 250
	6Ф6-М				
2	6Л6	A	270	2×0,067	270
	6Л6-С	AB_1	360	2×0,044	270
	6П3	AB_2	360	2×0,044	270
3	6V6-С	AB_1	300	2×0,039	250

Таблица 4в

тоды в однотактных схемах

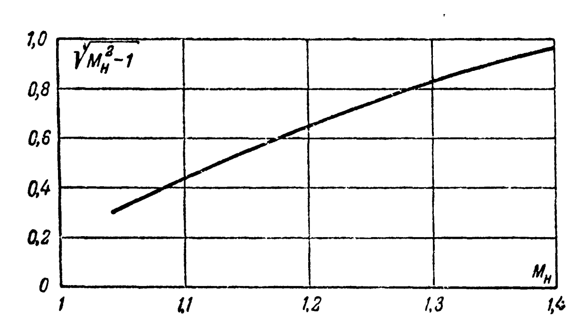
Ток экранной сетки $I_{g\,э}$ *а*	Напряжение смещения $U_{g\,0}$ *в*	Напряжение возбуждения $U_{g\sim}$ *в. эфф*	Внутреннее сопротивление R_i *ом*	Сопротивление нагрузки R'_a *ом*	Эквивалент сопротивления $R_э$ *ом*	Отдаваемая мощность $P_\sim$ *вт*
0,002	—6	4,2	80 000	12 000	12 000	0,25
0,001	—2,5	1,75	150 000	25 000	25 000	0,15
0,003	—6	4,2	20 000	2 500	2 500	0,3
0,008	—15	10,5	80 000	20 000	20 000	1,0
0,01	—6	4,2	11 000	7 000	7 000	2,5
0,005	—12,5	8,75	52 000	5 000	5 000	4,5
0,005	—7,5	5,25	10 000	2 000	2 000	2,2
0,007	—16	11,2	80 000	7 000	7 000	3,2
0,005	—14	9,8	22 500	2 500	2 500	6,5
0,004	—12	8,4	35 000	4 500	4 500	6,5

Таблица 4г

в двухтактных схемах

Ток экранной сетки $I_{g\,э}$ *а*	Напряжение смещения $U_{g\,0}$ *в*	Напряжение возбуждения $U_{g\sim}$ *в. эфф*	Сопротивление нагрузки R'_a *ом*	Эквивалентное сопротивление $R_э$ *ом*	Переменное напряжение на первичной обмотке $U_1\sim$ *в. эфф*	Отдаваемая мощность $P_\sim$ *вт*
2×0,012	—24	2×16,8	10 000	10 000	~130	10
2×0,005	—26	2×28,7	10 000	10 000	~330	19
2×0,01	—17,3	2×12	5 000	5 000	~80	18
2×0,005	—22,5	2×15,8	9 000	9 000	~280	24
2×0,008	—22,5	2×25,2	3 800	3 800	~310	47
2×0,005	—15	2×10,25	10 000	10 000	~130	14

3. Определяют объем стали сердечника. Объем стали сердечника, равный произведению площади сечения сердечника Q_c на среднюю длину магнитной силовой линии l_c, не должен быть малым, иначе в трансформаторе могут возникнуть значительные нелинейные искажения.



Фиг. 19. График для нахождения $\sqrt{M_н^2 - 1}$.

Для трансформаторов, работающих с постоянным подмагничиванием сердечника (в однотактных схемах), объем стали V_c (в *см*³) сердечника находят по формуле

$$V_c = Q_c l_c = \frac{L_1 I_{a0}^2 \cdot 10^8}{0{,}4\pi\mu \cdot aw_0^2},$$

где L_1 — индуктивность первичной обмотки в *гн*;

I_{a0} — анодный ток покоя лампы в *а*;

μ_0 — магнитная проницаемость стали;

aw_0 — ампервитки подмагничивания.

Значение aw_0 для трансформаторов, работающих с подмагничиванием сердечника, выбирают в пределах $3 \div 5$. Согласно выбранной величине aw_0 определяют по графику фиг. 20 необходимую для расчета величину $0{,}4\pi\mu_0$.

Для трансформаторов, работающих без подмагничивания, объем стали V_c (в *см*³) находят по формуле

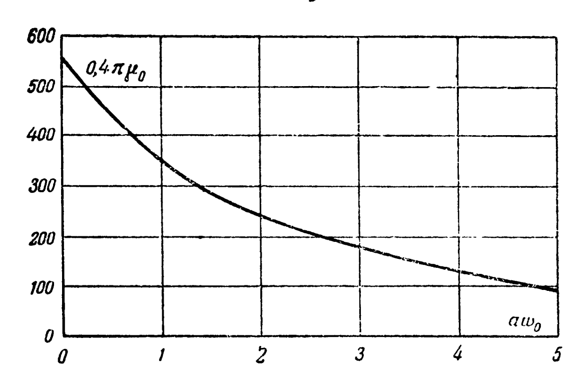
$$V_c = Q_c l_c = \frac{3\,000 \cdot U_{1\sim}^2}{L_1 \omega_н^2},$$

где $U_{1\sim}$ — переменное напряжение в цепи анода (на зажимах первичной обмотки).

Величина $0{,}4\pi\mu_0$ для этого случая примерно равна 550.

4. Определяют площадь (в $см^2$) сечения сердечника (для любого вида трансформатора — с подмагничиванием или без него):

$$Q_c = \frac{V_c}{l_c}.$$



Фиг. 20. График для нахождения величины $0{,}4\pi\mu_0$.

5. Определяют толщину (в *см*) пакета сердечника:

$$b = \frac{Q_c}{0{,}9a}.$$

6. Определяют число витков первичной обмотки трансформатора с подмагничиванием:

$$w_1 = 700\sqrt{\frac{L_1 l_c}{Q_c}}.$$

Для трансформатора, работающего без подмагничивания (двухтактная схема),

$$w_1 = 450\sqrt{\frac{L_1 l_c}{Q_c}}.$$

Число витков вторичной обмотки

$$w_2 = \frac{w_1}{n}.$$

7. Определяют наибольшую площадь меди в окне

сердечника с расчетом, чтобы в нем разместились обмотки трансформатора:

$$Q_m = F_m z y.$$

Ориентировочные величины коэффициентов F_m можно брать из табл. 6.

Таблица 6

Ориентировочные значения коэффициента F_m

Тип трансформатора / Провод	Входной междуламповый и выходной трансформатор при $U_{1\sim} \leq 300$ в	Выходной трансформатор при $U_{1\sim} \leq 400$ в	Выходной трансформатор при $U_{1\sim} = 400 - 2000$ в	Дроссель при $U_{1\sim} = 400$ в
Эмалированный (ПЭ) 0,05—0,2	0,15—0,25	0,15—0,25	—	0,3—0,4
ПШД 0,1—0,6	0,1—0,15	0,1—0,15	0,08—0,11	0,2—0,3
ПБД 0,1—0,6	—	0,09—0,11	0,08—0,12	0,18—0,22
ПБД от 0,6 и более	—	0,08—0,1	0,08—0,11	—

Таблица 7

Штампованные пластины, наиболее рекомендуемые для сердечников выходных трансформаторов

№ по пор.	Тип пластин	Марка пластин	Размеры пластин в см: a	z	y	l_c	V_c, см³	Рекомендуемое применение	Примечание
1	Броневой	Ш-19-I	1,9	1,4	4,0	15	40—100	Для выходных трансформаторов однотактных и двухтактных каскадов	Разъемные
2	„	Ш-19-III	1,9	1,6	4,6	16	40—120		
3	„	Ш-20-III	2,0	1,6	5,7	19,6	70—150		
4	„	Ш-30-III	3,0	1,4	4,5	18	100—300		
5	„	Ш-19-II	1,9	1,6	2,5	12	30—70	Для выходных трансформаторов двухатктных каскадов	Неразъемные
6	„	Ш-19-V	1,9	1,5	4,5	16	50—120		
7	„	Ш-30-V	3,0	1,9	6,7	24	100—300		

8. Определяют площадь меди, которую займут витки первичной обмотки. Необходимо задаться плотностью тока Δ в обмотках, которую берут по данным практики в пределах 1,5 — 2 *а/мм²*. Так как отношение силы тока I_{a0} к плотности тока Δ $\left(\frac{I_{a0}}{\Delta}\right)$ представляет площадь сечения q провода обмотки, то

$$Q_{m1} = q_1 \cdot w_1 \cdot 10^{-2} = \frac{I_{a0} \cdot w_1 \cdot 10^{-2}}{\Delta} \text{ см}^2.$$

9. Определяют диаметры проводов обмоток трансформатора:

$$d_1 = 1{,}13\sqrt{q_1} \text{ мм}$$

и

$$d_2 = \sqrt{n}\, d_1 \text{ мм}.$$

10. Определяют площадь меди, которую займут витки вторичной обмотки, по формуле

$$Q_{2m} = 0{,}78\ d_2^2 \cdot w_2 \cdot 10^{-2}.$$

11. Просуммировав площади Q_{m1} и Q_{m2} и взяв отношение суммы $Q_{m1} + Q_{m2}$ к площади окна сердечника zy, определяют фактический коэффициент заполнения. Если F'_m выходит за установленные пределы, то необходимо трансформатор пересчитать вновь, уточнив коэффициент F_m, величину $M_н$ и т. д.

Расчет выходного трансформатора с воздушным зазором. В случаях, если трансформатор работает в однотактном каскаде с подмагничивающим током, то даже при малом числе витков первичной обмотки будет наблюдаться в известной мере магнитное насыщение сердечника, что приведет к уменьшению величины действующей индуктивности обмотки. Уменьшить величину подмагничивающего потока и в результате сохранить небольшие размеры трансформатора можно введением в сердечник воздушного зазора. Необходимый воздушный зазор обеспечивается сборкой пластин встык, причем между плоскостями соприкосновения наборов пластин обычно помещается прокладка определенной толщины из слюды, прессшпана, бумаги или

картона. Воздушный зазор в трансформаторах целесообразно вводить только в случае, если произведение $L_1 I_{a0}^2$ превышает 0,003—0,005, где L_1 — выражено в *гн*, а I_{a0} в *а*.

Порядок расчета трансформатора с воздушным зазором аналогичен расчету трансформатора, работающего с подмагничиванием сердечника (по формулам, приведенным выше). Величина же воздушного зазора, который необходимо ввести в сердечник при сборке для получения необходимой величины L_1, определяется по формуле

$$\delta \,(\text{в } мм) = \frac{w_1 I_{a0}}{1\,400},$$

где I_{a0} выражено в *а*.

Расчет дросселя низкой частоты, работающий с подмагничиванием, аналогичен расчету первичной обмотки трансформатора, только следует увеличить в 1,7 — 1,8 раза величину F_m, так как коэффициент заполнения площади окна медью у дросселей может быть значительно выше.

3. Примеры расчета выходных трансформаторов.

а) Рассчитать выходной трансформатор для оконечного каскада, работающего на лампе У0-186, если известны:

1) сопротивление нагрузки $R_н = 10$ *ом* (динамик);
2) анодное напряжение $U_{a0} = 250$ *в*;
3) анодный ток покоя $I_{a0} = 0,03$ *а*;
4) допустимый коэффициент частотных искажений $M_н = 1,2$;
5) нижняя пограничная частота $f_н = 60$ *гц*.

Определяем вспомогательные величины для расчета.

1. По табл. 4,*а* находим оптимальную величину R'_a и $R_в$. Для однотактной схемы $R'_a = 2\,500$ *ом* и $R_в = 810$ *ом*.

2. По табл. 6 находим ориентировочный коэффициент заполнения F_m. Для трансформаторов, работающих при напряжении до 300 *в*, с обмотками из провода с эмалевой изоляцией, $F_m = 0,25$.

3. Полагая $f_н = 60$ *гц*, находим $\omega_н = 6,28 \cdot f_н = 6,28 \cdot 60 = 378$.

4. По графику фиг. 19 для $M_н = 1,2$ определяем значение $\sqrt{M_н^2 - 1}$; оно равно 0,66.

Порядок расчета:

1. Определяем коэффициент трансформации:

$$n = 0,95 \sqrt{\frac{R'_a}{1,2 R_н}} = 0,95 \sqrt{\frac{2\,500}{1,2 \cdot 10}} \approx 13,6;$$

полагаем $n = 14$.

2. Определяем величину индуктивности первичной обмотки:

$$L_1 = \frac{R_э}{\omega_н \sqrt{M_н^2 - 1}} = \frac{810}{378 \cdot 0,66} \approx 3,25 \ гн.$$

3. Учитывая, что трансформатор работает с подмагничиванием сердечника, выбираем $aw_0 = 4$, по графику фиг. 20 находим $0,4\pi\mu_0 = 130$ и определяем объем стали сердечника:

$$V_c = \frac{L_1 I^2_{a0} \cdot 10^8}{0,4\pi\mu_0 a w_0^2} = \frac{3,25 \cdot 0,03^2 \cdot 10^8}{130 \cdot 4^2} \approx 140 \ см^3.$$

4. Определяем площадь сечения сердечника, выбрав по табл. 7 пластины Ш-19-III, имеющие следующие размеры:

$$l_c = 16 \ см; \ a = 1,9 \ см; \ z = 1,6 \ см; \ y = 4,6 \ см,$$

$$Q_c = \frac{V_c}{l_c} = \frac{140}{16} = 8,7 \ см^2.$$

5. Определяем толщину пакета сердечника:

$$b = \frac{Q_c}{0,9a} = \frac{8,7}{0,9 \cdot 1,9} \approx 5 \ см = 50 \ мм.$$

6. Определяем число витков в обмотках:

$$w_1 = 700 \sqrt{\frac{L l_c}{Q_c}} = 700 \sqrt{\frac{3,25 \cdot 16}{8,7}} \approx 1\,715 \ витков;$$

$$w_2 = \frac{w_1}{n} = \frac{1\,715}{14} = 121 \ виток.$$

7. Определяем площадь меди первичной обмотки, исходя из выбранной плотности тока $\Delta = 1,5 \ а/мм^2$:

$$Q_{m_1} = \frac{I_{a0} \cdot w_1 \cdot 10^{-2}}{\Delta} = \frac{0,03 \cdot 1\,715 \cdot 10^{-2}}{1,5} = 0,343 \ см^2.$$

Площадь сечения провода первичной обмотки $q = \frac{I_{a0}}{\Delta} = \frac{0,03}{1,5} =$ $= 0,02$.

8. Определяем диаметры проводов обмоток:

$$d_1 = 1,13 \sqrt{q_1} = 1,13 \sqrt{0,02} = 0,16 \ мм;$$

$$d_2 = \sqrt{n} \cdot d_1 = \sqrt{14} \cdot 0,16 = 0,6 \ мм.$$

9. Определяем площадь меди вторичной обмотки:

$$Q_{m_2} = 0,78 d_2^2 w_2 \cdot 10^{-2} = 0,78 \cdot 0,6^2 \cdot 121 \cdot 10^{-2} = 0,34 \ см^2.$$

10. Определяем сумму площадей обмоток:

$$Q_m = Q_{m_1} + Q_{m_2} = 0,343 + 0,34 = 0,683 \ см^2.$$

11. Определяем фактический коэффициент заполнения F'_m окна. Учитывая каркас, фактическая площадь окна $z'y' = 1{,}4 \cdot 4{,}2 \approx$ $\approx 5{,}9$ *см²*.

Площадь, занимаемая проводом с изоляцией, $Q_m \cdot 1{,}15 \approx 0{,}8$ *см²*. Тогда

$$F'_m = \frac{0{,}8}{5{,}9} \approx 0{,}14.$$

Обмотки разместятся свободно.

По сортаменту табл. 11 выбираем для обмоток провода $d_1 =$ $= 0{,}15$ *мм* и $d_2 = 0{,}59$ *мм* (по меди).

б) Рассчитать выходной трансформатор для двухтактного оконечного каскада на лампах 6П3, если известны:

1) сопротивление нагрузки $R_н = 2$ *ома*;

2) анодное напряжение $U_{a0} = 360$ *в*;

3) анодный ток покоя $I_{a0} = 0{,}041$ $a \times 2$;

4) допустимый коэффициент частотных искажений $M_н = 1{,}3$;

5) нижняя пограничная частота $f_н = 60$ *гц*.

Определяем вспомогательные величины.

1. По табл. 4,г находим оптимальную величину $R'_a = R_э$, действующую между анодами ламп 6П3: для класса усиления AB_1 $R_a' = 9\,000$ *ом* и $U_{1\sim} = 280$ *в*.

2. По табл. 6 находим для трансформаторов, работающих под напряжением $\leqslant 400$ *в*, с обмотками из провода с эмалевой изоляцией, ориентировочный коэффициент заполнения $F_m = 0{,}25$.

3. Полагая $f_н = 60$ *гц*, находим $\omega_н = 6{,}28 \cdot 60 = 378$.

4. По графику фиг. 19 находим для $M_н = 1{,}3$ значение $\sqrt{M_н^2 - 1}$, равное 0,85.

5. Выбираем плотность тока $\Delta = 2$ *а/мм²*.

Порядок расчета:

1. Определяем коэффициент трансформации:

$$n = 0{,}95 \sqrt{\frac{R'_a}{1{,}2 R_н}} = 0{,}95 \sqrt{\frac{9\,000}{1{,}2 \cdot 2{,}0}} = 58.$$

Определяем индуктивность первичной обмотки, полагая для тетродов 6П3 $R_э = R'_a = 9\,000$ *ом*:

$$L = \frac{R_э}{\omega_н \sqrt{M_н^2 - 1}} = \frac{9\,000}{378 \cdot 0{,}85} = 28 \text{ гн}.$$

3. Определяем объем стали сердечника для трансформатора, работающего без подмагничивания (двухтактная схема):

$$V_c = Q_c l_c = \frac{3\,000 \cdot U_{1\sim}^2}{L_1 \omega_н^2} = \frac{3\,000 \cdot 280^2}{28 \cdot 3\,782} \approx 90 \text{ см}^3.$$

4. Выбираем по табл. 7 штампованные пластины Ш-19-III, имеющие следующие размеры: $l_c = 16$ *см*; $a = 1{,}9$ *см*; $z = 1{,}6$ *см* и $y =$ $= 4{,}6$ *см*.

Определяем площадь сечения сердечника:

$$Q_c = \frac{V_c}{l_c} = \frac{90}{16} \approx 5,6 \text{ см}^2.$$

5. Определяем толщину пакета сердечника:

$$b = \frac{Q_c}{0,9a} = \frac{5,6}{0,9 \cdot 1,9} \approx 3,2 \text{ см} = 32 \text{ мм}.$$

6. Определяем число витков в обмотках:

$$w_1 = 450 \sqrt{\frac{L_1 l_c}{Q_c}} = 450 \sqrt{\frac{28 \cdot 16}{5,6}} = 4\,050 \text{ витков}.$$

Учитывая, что трансформатор будет работать в двухтактной схеме, от середины (2 025 вит.) первичной обмотки необходимо сделать отвод.

$$w_2 = \frac{w_1}{n} = \frac{4\,050}{58} \approx 72 \text{ витка}.$$

7. Определяем площадь меди первичной обмотки:

$$Q_{m_1} = \frac{I_{a0} \cdot w_1 \cdot 10^{-2}}{\Delta} = \frac{0,04 \cdot 4\,050 \cdot 10^{-2}}{2} \approx 0,81 \text{ см}.$$

Площадь сечения провода первичной обмотки

$$q_1 = \frac{0,04}{2} = 0,02 \text{ мм}^2.$$

8. Определяем диаметры проводов обмоток:

$$d_1 = 1,13 \sqrt{q_1} = 1,13 \sqrt{0,02} = 0,16 \text{ мм};$$

$$d_2 = \sqrt{n \cdot d_1} = \sqrt{58} \cdot 0,16 = 1,21 \text{ мм}.$$

9. Определяем площадь меди вторичной обмотки:

$$Q_{m_2} = 0,78 d_2^2 \cdot w_2 \cdot 10^{-2} = 0,78 \cdot 1,21 \cdot 72 \cdot 10^{-2} = 0,82 \text{ см}.$$

10. Определяем сумму площадей:

$$Q_m = Q_{m_1} + Q_{m_2} = 0,81 + 0,82 = 1,63 \text{ см}^2.$$

11. Определяем фактический коэффициент F'_m заполнения окна:

$$F'_m = \frac{Q_m \cdot 1,15}{z'y'} = \frac{1,63 \cdot 1,15}{1,5 \cdot 4,4} \approx 0,27.$$

Обмотки трансформатора на каркасе разместятся.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ДРОССЕЛИ

1. Сглаживающие фильтры. Дроссель представляет собой обмотку, размещенную на сердечнике, собранном из штампованных пластин мягкой стали. Конструкции дросселей подобны конструкциям трансформаторов. Дроссели наиболее часто используются в фильтрах питающих устройств (выпрямителей, умформеров и вибрационных преобразователей) для ослабления имеющихся на выходе пульсаций. Питать радиоприемники, усилители и радиопередатчики плохо сглаженным напряжением не рекомендуется, так как неизбежно появляющийся при этом фон ухудшает качество работы установки.

Величины пульсации на зажимах источника (выпрямителя и т. д.) до фильтра различны и зависят от электрической схемы устройства. В табл. 8 приведены данные о величине пульсации для различных питающих устройств. Полное сглаживание пульсаций получить невозможно и обычно в практической работе принято руководствоваться допустимыми величинами пульсации для различных устройств. Данные допустимых величин пульсации приведены в табл. 9.

Сглаживание пульсаций осуществляется при помощи фильтров, состоящих из дросселей и конденсаторов большой емкости. Дроссели включаются в цепь питания последовательно и благодаря их индуктивному действию сглаживают изменения силы тока в цепи. Конденсаторы, включаемые за дросселями параллельно цепи питания, способствуют поддержанию постоянства выходного напряжения. Схемы сглаживающих фильтров приведены на фиг. 21. Наиболее часто применяются однозвенные фильтры. Если однозвенный фильтр недостаточно сглаживает пульсации, то в таких случаях применяют многозвенные фильтры, состоящие из двух или более звеньев. Основным показателем качества фильтра является коэффициент фильтрации α, показывающий во сколько раз фильтр ослабляет переменное напряжение, поданное на его вход, т. е.

$$\alpha = \frac{U'_p}{U_r}.$$

Коэффициент фильтрации зависит от частоты пульсации f_0, величины индуктивности сглаживающего дросселя и величины емкости C фильтра.

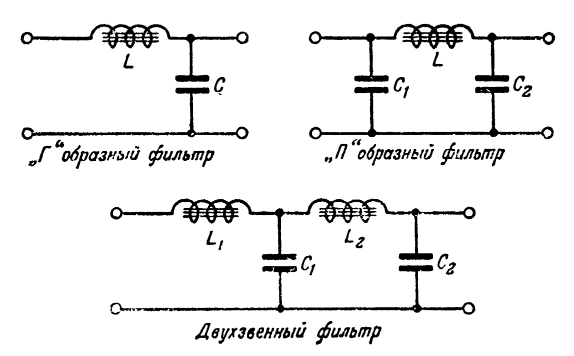
Для однозвенного фильтра

$$a = \omega_p^2 LC - 1;$$

для двухзвенного фильтра формула принимает вид

$$a = (\omega_p^2 L_1C_1 - 1)(\omega_p^2 L_2C_2 - 1),$$

где L — выражена в *гн*, а C в *ф*.



Фиг. 21. Схемы сглаживающих фильтров.

Требуемая индуктивность дросселя для однозвенного фильтра находится по формуле

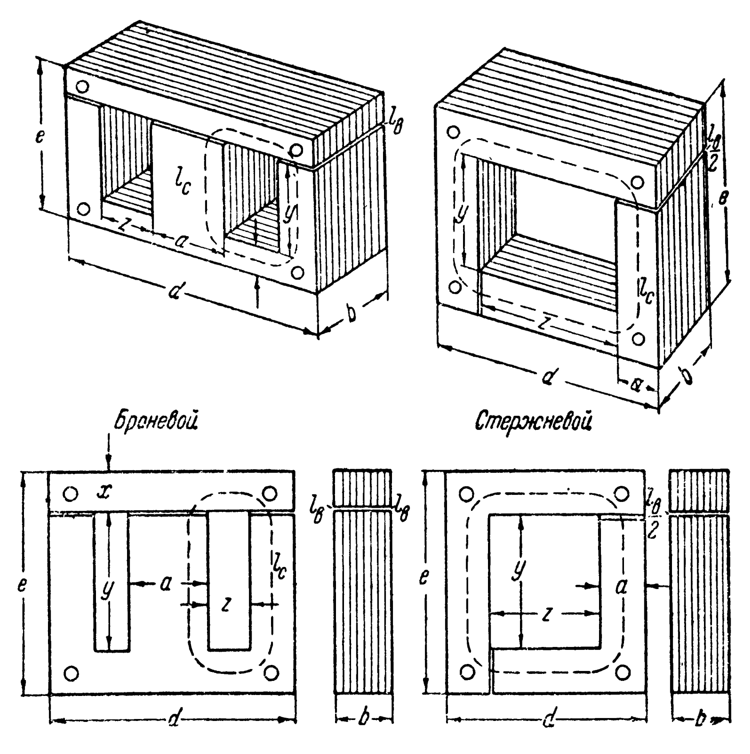
$$L = \frac{a+1}{\omega_p^2 C} \text{ гн.}$$

Падение напряжения на обмотке дросселя для постоянной составляющей выпрямленного тока обычно допускается от нескольких вольт до нескольких десятков (30—40 *в*). Следовательно, дроссель должен иметь определенную величину омического сопротивления, а для переменной же составляющей тока, т. е. пульсации, он должен представлять большое сопротивление.

В большинстве конструкций дросселей штампованные пластины собираются встык, с воздушным зазором, наличие которого при определенной его величине, зависящей от постоянной составляющей I_0 выпрямленного тока, позволяет получить максимальную индуктивность об-

мотки. Вид сердечников дросселей показан на фиг. 22. Для дросселей воздушный зазор в сердечник целесообразно вводить в случаях, когда произведение величины индуктивности на квадрат выпрямленного тока I_0, проходящего через дроссель, больше 0,003—0,005, т. е. когда

$$LI_0^2 > (0{,}003 \div 0{,}005).$$



Фиг. 22. Сердечники для дросселей.

2. Расчет сглаживающих дросселей. Расчет сглаживающего дросселя сводится к выбору типа пластин, определению размеров сердечника (Q_c и b), определению диаметра провода обмотки d, числа витков w. Наиболее часто используемые для сердечника штампы пластин приведены в табл. 10.

Таблица 8

Ориентировочные величины пульсации для различных питающих устройств

№ по пор.	Вид питающего устройства	Схема фильтра	Величина пульсации на входе фильтра в *в*	Частота пульсации в *гц*
1	Выпрямитель однополупериодный	Без фильтра	$1{,}57U_0$	50
2	Выпрямитель однополупериодный[1]	U_p', C_1, L, C_2, U_p	$0{,}2—0{,}3U_0$	50
3	Выпрямитель двухполупериодный	Без фильтра	$0{,}67U_0$	100
4	Выпрямитель двухполупериодный	U_p', L, C_1, U_p	$0{,}67U_0$	100
5	Выпрямитель двухполупериодный[2]	U_p', C_1, L, C_2, U_p	$0{,}1—0{,}2U_0$	100
6	Умформер[3]	Без фильтра	$0{,}03U_0$	
7	Вибрационный преобразователь[3]	U_p', C_1, L, C_2, U_p	$0{,}08—0{,}15U_0$	100—250

[1] Пульсация зависит от величины входной емкости фильтра.

[2] Пульсация зависит от величины входной емкости фильтра.

[3] Зависит от конструкции. Пульсация дана по отношению к выходному напряжению.

Таблица 9

Допустимые величины пульсации U_p для радиоустройств

№ по пор.	Вид радиоустройства	Допустимая величина пульсации
1	Мощный каскад телеграфного передатчика . .	$0,01\ U_0$
2	Мощный каскад телефонного передатчика . . .	$0,001 U_0$
3	Мощный каскад усилителя двухтактного . . .	$0,01\ U_0$
4	Мощный каскад усилителя однотактного	$0,005 U_0$
5	Задающий генератор	$0,001 U_0$
6	Каскады усиления высокой частоты	$0,001 U_0$
7	Каскады усиления низкой частоты	$0,002 U_0$
8	Промежуточные каскады телеграфного передатчика	$0,008 U_0$
9	Промежуточные каскады телефонного передатчика	$0,005 U_0$
10	Цепи микрофона	$0,0001 U_0$

Примечание. Значения пульсации даны по отношению к величине постоянного напряжения U_0.

Заданными величинами для расчета являются:

1) выбранный по табл. 10 тип пластин с определенными размерами a, z, y и l_c;

2) величина индуктивности обмотки L в *гн*;

3) сила тока I_0, проходящего через дроссель;

4) падение напряжения в дросселе ΔU_0;

5) сопротивление дросселя постоянному току $R_0 = \frac{\Delta U_0}{I_0}$.

Коэффициент заполнения F_m для дросселей выбирается в пределах 0,3 — 0,4 для провода с эмалевой изоляцией. Для проводов с изоляцией ПЭБО, ПЭШО, ПШД и ПБД F_m берут в пределах 0,2 — 0,3. Плотность тока Δ для обмоток дросселей выбирают обычно в пределах 0,5 — 1,5 *а/мм*². Для малых дросселей допустимо плотность тока Δ доводить до 2 — 2,5 *а/мм*².

Расчет производим в следующей последовательности.

1. Определяют сечение сердечника дросселя, базируясь на выбранный тип пластин, по формуле

$$Q_c = 140 \frac{L l_c q^2}{F_m^2 (zy)^2}\ см^2.$$

(Сечение провода q находится как $\frac{I_0}{\Delta}$).

Таблица 10

Штампованные пластины для сердечников дросселей

№ по пор.	Тип пластин	Марка пластин	Размеры в *см*				Средняя длина витка обмотки $l_{m\,cp}$ в *см*			Область применения	Примечание
			a	z	y	l_c	при $b=a$	при $b=2a$	при $b=3a$		
1	Броневой	Ш-19-I	1,9	1,4	4,0	15	12,0	15,8	19,6	Анодные, сеточные и малые сглаживающие дроссели (№ 1–3)	$l_{m\,cp} = 2(a+b) + z\pi$, где $\pi = 3,14$
2	»	Ш-19-II	1,9	1,6	2,5	12	12,62	16,42	20,22		
3	»	Ш-19-III	1,9	1,6	4,6	16	12,62	16,42	20,22		
4	»	Ш-20-III	2,0	1,6	5,7	19,6	13,03	17,02	21,02	Сглаживающие дроссели питающих устройств (№ 4–10)	
5	»	Ш-25-VII	2,5	3,0	5,7	20	19,5	24,5	29,5		
6	Стержневой	Г-24-IV	2,4	2,2	6,0	26	16,5	21,3	26,1		
7	Броневой	Ш-30-III	3,0	1,4	4,5	18	16,4	22,4	28,4		
8	»	Ш-32-VI	3,2	1,5	4,6	18,8	17,5	23,9	30,3		
9	»	Ш-32-VII	3,2	3,5	7,2	29	23,8	30,2	36,6		
10	»	Ш-30-VII	3,0	2,7	5,4	16,7	20,5	26,5	32,5		

2. Определяют толщину пакета сердечника

$$b = \frac{Q_c}{0{,}9a}.$$

Толщина пакета сердечника b должна быть больше размера a пластины сердечника. Если размер b получается малым, следует использовать штамп с меньшими размерами l_c, a, z и y и пересчитать Q_c и b. Если толщина пакета b получается большой, то в этом случае надлежит выбрать штамп с большими размерами l_c, a, z и y и пересчитать Q_c и b заново.

3. Определяют число ампервитков подмагничивания по формуле

$$aw_0 = \frac{\Delta F_m z y}{0{,}01 l_c}.$$

4. Определяют число витков дросселя по формуле

$$w = \frac{aw_0 l_c}{I_0}.$$

5. Длину $l_в$ воздушного зазора в *мм* в стыке сердечника (толщина прокладки) находим по формуле

$$\delta = \frac{w_1 I_0}{1400},$$

где I_0 в *а*.

6. Определяют сопротивление дросселя п стоянному току. Для этого сперва определяем сечение провода $q = \frac{I_0}{\Delta}$,

тогда

$$R_0 = \frac{\rho w l_{m\,ср}}{q},$$

где ρ — удельное сопротивление провода (для меди 0,0178); $l_{m\,ср}$ — средняя длина витка, берется из табл. 10 для данного отношения $\frac{b}{a}$.

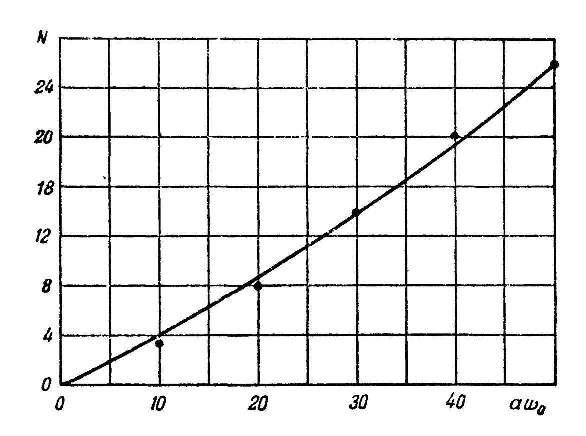
7. Определяют диаметр провода обмотки:

$$d = 1{,}13\sqrt{q}.$$

В ряде случаев приходится определять для готовых дросселей величину индуктивности L, сопротивление R_0 и толщину прокладки $\delta_в$ для образования воздушного зазора.

Это осуществляется в следующем порядке.

1. По данным детали определяют число витков обмотки w, ток I_0 в обмотке и размеры пластин сердечника l_c, a, b, z и y.



Фиг. 23. График для нахождения коэффициента N.

2. Находят число ампервитков подмагничивания по формуле

$$aw_0 = \frac{wI_0}{l_c}.$$

3. По графику фиг. 23 находят вспомогательный коэффициент N в зависимости от aw_0.

4. Определяют площадь поперечного сечения сердечника

$$Q_c = 0{,}9\,ab.$$

5. Находят произведение величины индуктивности L_1 дросселя на квадрат силы тока I_0, проходящего через его обмотку, по формуле

$$LI_0^2 = Q_c \ l_c N \cdot 10^{-4}.$$

6. Разделив произведение LI_0^2 на квадрат силы тока I_0^2, определяют индуктивность дросселя:

$$L = \frac{LI_0^2}{I_0^2} \ \text{гн}.$$

7. Толщину прокладки находят по формуле

$$\delta_в = \frac{w \cdot I_0}{1\,400}.$$

8. Сопротивление обмотки дросселя находят по формуле

$$R_0 = \frac{\rho \cdot w l_{m\,cp}}{q}.$$

Пример 1. Рассчитать дроссель сглаживающего фильтра с емкостным входом для двухполупериодного кенотронного выпрямителя, питающего мощный многокаскадный усилитель, который потребляет при нормальной работе ток 0,1 *а* при напряжении 300 *в*. По данным табл. 9 коэффициент пульсации U_p на выходе выпрямителя должен быть равен 0,005 U, т. е. $U_p = 0{,}005 \cdot 300 = 1{,}5$ *в*.

1. Определяем по данным таблицы величину пульсации на входе фильтра выпрямителя U'_p:

$$U'_p = 0{,}2 \ U_2 = 0{,}2 \cdot 300 = 60 \ в.$$

2. Определяем коэффициент фильтрации:

$$a = \frac{U'_p}{U_p} = \frac{60}{1{,}5} = 40.$$

3. Находим величину индуктивности дросселя, если входная емкость фильтра $C = 10$ *мкф*:

$$L = \frac{a+1}{\omega^2 C} = \frac{40+1}{(6{,}28 \cdot 100) \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \approx 10{,}7 \ гн.$$

Конструктивный расчет дросселя. Заданные величины:

1) индуктивность дроссселя $L = 10{,}7$ *гн*;

2) сила тока, проходящего через обмотку дросселя, $I_0 = 0{,}1$ *a*;

3) для сердечника предполагаем использовать штамп Ш-30-V; Его размеры: $a = 3$ *см*; $z = 1{,}9$ *см*; $y = 6{,}7$ *см*; $l_c = 24$ *см*.

4) коэффициент заполнения F_m выбираем 0,3 (для провода марки ПЭ);

5) плотность тока в обмотке дросселя $\Delta = 2$ *а/мм²*;

6) падение напряжения на дросселе ΔU может доходить до 40 *в*;

7) сопротивление дросселя постоянному току

$$R_0 = \frac{\Delta U}{I_0} = \frac{40}{0{,}1} = 400 \text{ ом}.$$

Порядок расчета:

1. Определяем площадь поперечного сечения сердечника:

$$Q_c = 140 \frac{L l_c q^2}{F^2_m (zy)^2} = 140 \frac{10{,}7 \cdot 24 \left(\frac{0{,}1}{2}\right)^2}{0{,}3^2 (1{,}9 \cdot 6{,}7)^2} =$$

$$= 140 \frac{10{,}7 \cdot 24 \cdot 0{,}0025}{0{,}09 \cdot 162} = 6 \text{ см}^2.$$

2. Определяем толщину пакета сердечника:

$$b = \frac{Q_c}{0{,}9\, a} = \frac{6}{0{,}9 \cdot 3} \approx 2{,}2 \text{ см}.$$

Как видим, условие $b > a$ в данном случае не выполняется. Ориентируемся на пластины Ш-20-III с размерами: $a = 2$ *см* $z = 1{,}6$ *см* $y = 5{,}7$ *см* и $l_c = 19{,}6$ *см*, и рассчитываем снова.

1. Площадь поперечного сечения сердечника

$$Q_c = 140 \frac{10{,}7 \cdot 19{,}6 \cdot 0{,}0025}{0{,}09 \cdot 82{,}8} \approx 9{,}8 \text{ см}^2.$$

2. Толщина пакета сердечника:

$$b = \frac{9{,}8}{0{,}9 \cdot 2} = 5{,}45 \text{ см} = 54{,}5 \text{ мм}.$$

3. Определяем число ампервитков подмагничивания:

$$aw_0 = \frac{\Delta F_m \cdot zy}{0{,}01 \cdot l_c} = \frac{2 \cdot 0{,}3 \cdot 1{,}6 \cdot 5{,}7}{0{,}01 \cdot 19{,}6} \approx 27.$$

4. Определяем число витков дросселя:

$$w = \frac{aw_0 l_c}{I_0} = \frac{27 \cdot 19{,}6}{0{,}1} = 5\,292.$$

Принимаем $w = 5\,290$ витков.

5. Определяем толщину прокладки для получения воздушного зазора:

$$\delta_в = \frac{w_1 I_0}{1\,400} = \frac{5\,290 \cdot 0{,}1}{1\,400} \approx 0{,}38 \textit{ мм}.$$

6. Определяем сопротивление дросселя постоянному току. Сечение провода обмотки

$$q = \frac{I_0}{\Delta} = \frac{0{,}1}{2} = 0{,}05,$$

$$R_0 = \frac{\rho \cdot w l_{m\,ср}}{q} = \frac{0{,}0178 \cdot 5\,290 \cdot 0{,}18}{0{,}05} \approx 340 \textit{ ом}.$$

По условиям дроссель может иметь $R = 400$ *ом*.

7. Определяем диаметр провода обмотки:

$$d = 1{,}13\sqrt{q} = 1{,}13\sqrt{0{,}05} \approx 0{,}25 \textit{ мм}.$$

Пример 2. Определить величину индуктивности L, сопротивление обмотки R_0 и толщину прокладки $\delta_в$ у дросселя, имеющего 5 000 витков, намотанных проводом ⌀0,1 ПЭН на сердечнике из пластин Ш-19-II и имеющем размеры:

$a = 1{,}9$ *см*, $b = 3$ *см*, $z = 1{,}6$ *см*, $y = 4{,}6$ *см* и $l_c = 16$ *см*, $l_{m\,ср} = 8$ *см*. Через дроссель проходит ток $I_0 = 10$ *ма* (0,01 *а*).

1. Находим число ампервитков

$$aw_0 = \frac{wI_0}{l_c} = \frac{5\,000 \cdot 0{,}01}{16} \approx 3{,}1.$$

2. По графику фиг. 23 находим вспомогательный коэффициент $N = 1{,}5$.

3. Площадь сечения сердечника

$$Q_c = 0{,}9\,ab = 0{,}9 \cdot 1{,}9 \cdot 3 = 5{,}1 \textit{ см}^2.$$

4. Находим произведение величины индуктивности L на квадрат силы тока I_0:

$$LI^2_0 = Q_c l_c N \cdot 10^{-4} = 5{,}1 \cdot 16 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-4} = 0{,}012.$$

5. Находим величину индуктивности дросселя:

$$L = \frac{LI^2_0}{I^2_0} = \frac{0,012}{0,012^2} = \frac{0,012}{0,0001} = 120 \text{ гн.}$$

6. Находим толщину прокладки:

$$\delta_в = \frac{w_1 I_0}{1\,400} = \frac{5\,000 \cdot 0,01}{1\,400} = 0,035 \text{ мм.}$$

Прокладку в этом случае можно не ставить, так как вследствие малых aw_0 она практического значения иметь не будет.

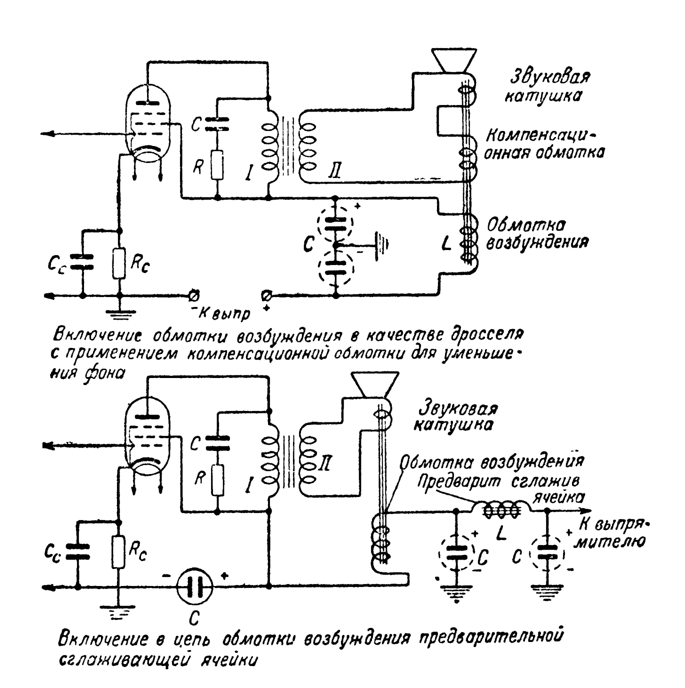
7. Находим сопротивление обмотки дросселя:

$$R_0 = \frac{\rho w l_{m\,cp}}{q} = \frac{0,0178 \cdot 5\,000 \cdot 0,08}{0,0078} = 912 \text{ ом.}$$

При конструктивном оформлении дросселей следует обращать внимание на надежность изоляции обмотки от сердечника, так как дроссели наиболее часто включаются в плюсовый провод и обмотки их находятся под высоким положительным потенциалом. Если изоляция будет недостаточна, может произойти пробой изоляции и короткое замыкание питающего устройства, если сердечник будет заземлен и соединен с минусом выпрямителя. Обмотку дросселя обычно осуществляют, укладывая провод вразброс. Через каждые 300—400 витков прокладывают слой изоляции (конденсаторная или кабельная бумага). Для дросселей, предназначенных для работы в цепях с высоким напряжением (более 3 000 *в*), например, в фильтрах выпрямителей, питающих передатчики, обмотку целесообразно выполнять равномерными слоями или даже секционировать ее. Необходимость последнего объясняется тем, что при включении высокого напряжения будут заряжаться конденсаторы фильтра, включенные за дросселем. В первый момент заряжающийся конденсатор потребляет ток большой силы, что почти эквивалентно короткому замыканию выходных зажимов выпрямителя. Можно считать, что в момент включения напряжение, отдаваемое выпрямителем, полностью падает на дросселе. Если электрическая прочность дросселя недостаточна, то это может привести к междувитковому пробою и образованию короткозамкнутых витков. Допустимая величина напряжения на слой витков об-

мотки не должна превышать 50—80 *в*. Обмотка дросселя по отношению к корпусу должна выдерживать на пробой напряжение (3 ÷ 4) U_0. В высоковольтных выпрямителях дроссели иногда включаются в минусовый провод.

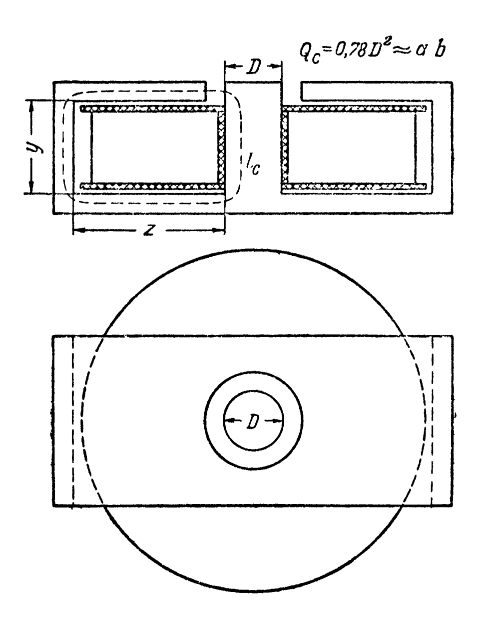
3. Обмотка возбуждения динамика в качестве дросселя сглаживающего фильтра. В ряде фабричных приемни-



Фиг. 24. Схемы включения обмоток возбуждения динамиков.

ков в качестве сглаживающего дросселя используется обмотка возбуждения динамика. Подобное включение обмотки возбуждения часто практикуется и радиолюбителями. Включение базируется обычно на следующих положениях. Мощность, затрачиваемая на возбуждение магнитного потока в зазоре динамика, составляет примерно 6—12 *вт*. Сопротивление обмотки возбуждения постоянному току у динамических громкоговорителей, применяемых в приемниках, лежит в пределах 600—1 200 *ом*. Индуктивность обмотки возбуждения находится

в пределах 15—40 *гн*. Режим работы обмотки возбуждения динамического громкоговорителя обычно рассчитан на создание в зазоре, где находится звуковая катушка, максимального магнитного потока. Следовательно, магнитная цепь громкоговорителя работает с насыщением или в режиме, близком к нему. Подобный режим ухудшает действие обмотки как сглаживающего дросселя.



Фиг. 25. Эскиз магнитной цепи динамиков.

Обмотка возбуждения динамика типа ЦРЛ-10, имеющая $w=12\,500$ витков из провода ⌀ 0,18 ПЭ, $R_0=1\,100$ *ом* при токе $I_0=70$ *ма* и мощности, затрачиваемой в цепи обмотки $P = 6$ *вт*, обладает индуктивностью $L = 35$ *гн*. Обмотка возбуждения динамика типов ДД-3 или ДД-5 (от приемников СВД) при $w=10\,000$ витков и токе $I_0 = 0{,}1$ *а* имеет индуктивность $L \approx 25 \div 30$ *гн*.

Следует учитывать также, что к обмотке подводится выпрямленное напряжение с пульсацией, составляющей в среднем 15—20% величины выпрямленного напряжения U_0. Обычно это вызывает появление фона, который

портит качество воспроизведения. Как мера борьбы с этим фоном практикуется включение последовательно в цепь звуковой катушки компенсационной обмотки из 30 — 40 витков провода ⌀ 0,8—1,0 *мм*, которая наматывается на обмотку возбуждения. Подбором включения витков компенсационной обмотки удается найти такое положение, когда пульсирующее напряжение, воздействующее на звуковую катушку и вызывающее фон, будет компенсировано встречной э. д. с. дополнительной обмотки. Этот способ компенсации фона очень эффективен. Если такой дополнительной обмотки у динамика нет, то в таких случаях обычно практикуют включение перед обмоткой возбуждения динамика предварительной сглаживающей ячейки. Подобные схемы включения показаны на фиг. 24.

Расчет величины индуктивности обмотки возбуждения производится так же, как и разобранный выше расчет индуктивности сглаживающего дросселя. Размеры магнитной цепи могут быть определены, как показано на фиг. 25. Далее определяют число подмагничивающих ампервитков обмотки:

$$aw_0 = \frac{wI_0}{l_c}.$$

По графику фиг. 23 находят вспомогательный коэффициент N и определяют площадь поперечного сечения стержня магнитной цепи:

$$Q_c = 0{,}78D^2.$$

Затем находят произведение величины индуктивности L на квадрат силы тока I_0, проходящего через обмотку возбуждения. Тогда

$$LI_0^2 = Q_c\, l_c N \cdot 10^{-4}.$$

Далее находят индуктивность обмотки возбуждения по формуле

$$L = 0{,}8\,\frac{Q_c l_c \cdot N \cdot 10^{-4}}{I_0^2}\ \textit{гн}.$$

Множитель 0,8 введен для учета режима работы стали, близкого к насыщению.

Пример. Определить индуктивность обмотки возбуждения динамика, если известны: $w = 10\,000$ витков; провод ⌀0,2 ПЭ; диаметр стержня $D = 2,5$ *см*; средняя длина магнитной силовой линии $l_c = 22$ *см*. Через обмотку проходит подмагничивающий ток $I_0 = 0,1$ *а*.

1. Определяем площадь поперечного сечения:

$$Q_c = 0,78 \cdot D^2 = 0,78 \cdot 2,5^2 = 4,86 \text{ см}^2.$$

2. Определяем ампервитки подмагничивания:

$$aw_0 = \frac{wI_0}{l_c} = \frac{10\,000 \cdot 0,1}{22} \approx 46.$$

3. По графику фиг. 23 находим вспомогательный коэффициент $N = 23$.

4. Определяем индуктивность обмотки:

$$L = 0,8\,\frac{Q_c l_c \cdot N \cdot 10^{-4}}{I_0^2} = 0,8\,\frac{4,86 \cdot 22 \cdot 23 \cdot 10^{-4}}{0,01} = 19,6 \text{ гн}.$$

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СПРАВОЧНЫЙ ОТДЕЛ

Таблица 11

Обмоточные провода

Диаметр провода в *мм*	Сечение провода в *мм*²	Диаметр изолированного провода в *мм*						
		ПЭ, ПЭН, ПЭЛ, ПЭТ	ПЭБО	ПЭБД	ПЭШО	ПЭШД	ПШО	ПБД
0,08	0,00503	0,09	—	—	0,13	0,17	0,16	—
0,09	0,00606	0,1	—	—	0,14	0,18	0,17	—
0,10	0,00785	0,11	—	—	0,15	0,19	0,18	—
0,11	0,0095	0,125	0,21	0,29	0,165	0,2	0,19	0,28
0,12	0,0113	0,135	0,22	0,3	0,175	0,215	0,20	0,29
0,13	0,0133	0,145	0,23	0,31	0,18	0,22	0,21	0,30
0,15	0,0177	0,165	0,25	0,33	0,20	0,24	0,23	0,32
0,17	0,0227	0,185	0,27	0,35	0,22	0,26	0,25	0,34
0,18	0,0255	0,105	0,28	0,36	0,23	0,27	0,26	0,35
0,2	0,0314	0,21	0,3	0,38	0,25	0,29	0,28	0,37

Диаметр провода в *мм*	Сечение провода в $мм^2$	Диаметр изолированного провода в *мм*						
		ПЭ, ПЭН, ПЭЛ, ПЭТ	ПЭБО	ПЭБД	ПЭШО	ПЭШД	ПШО	ПБД
0,21	0,0346	0,23	0,32	0,4	0,29	0,35	0,33	0,38
0,23	0,0416	0,25	0,34	0,42	0,31	0,37	0,35	0,40
0,25	0,0491	0,27	0,36	0,44	0,33	0,39	0,37	0,42
0,27	0,0573	0,29	0,40	0,49	0,35	0,41	0,39	0,47
0,29	0,0661	0,31	0,42	0,51	0,37	0,42	0,41	0,49
0,31	0,0755	0,34	0,45	0,54	0,40	0,46	0,43	0,51
0,33	0,0885	0,36	0,47	0,56	0,42	0,48	0,45	0,53
0,35	0,0962	0,39	0,49	0,58	0,44	0,5	0,47	0,55
0,38	0,113	0,41	0,52	0,61	0,47	0,53	0,50	0,58
0,41	0,132	0,44	0,55	0,64	0,50	0,56	0,53	0,61
0,44	0,152	0,475	0,58	0,67	0,53	0,59	0,56	0,64
0,47	0,173	0,5	0,62	0,7	0,56	0,62	0,59	0,67
0,51	0,20	0,54	0,65	0,74	0,60	0,66	0,63	0,71
0,55	0,246	0,59	0,70	0,79	0,65	0,71	0,67	0,75
0,59	0,27	0,63	0,74	0,83	0,69	0,75	0,71	0,79
0,64	0,322	0,68	0,79	0,88	0,74	0,80	0,76	0,84
0,69	0,37	0,73	0,84	0,93	0,79	0,85	0,81	0,89
0,74	0,43	0,79	0,9	0,99	0,85	0,91	0,86	0,94
0,8	0,503	0,85	0,96	1,05	0,91	0,97	0,92	1,0
0,86	0,581	0,91	1,02	1,11	0,97	1,03	0,98	1,06
0,93	0,68	0,98	1,09	1,18	1,04	1,16	1,05	1,13
1,0	0,785	1,05	1,16	1,25	1,11	1,17	1,12	1,20
1,08	0,93	1,14	1,30	1,44	—	—	—	1,33
1,16	1,05	1,22	1,38	1,52	—	—	—	1,36
1,25	1,21	1,31	1,47	1,61	—	—	—	1,55
1,35	1,43	1,41	1,57	1,71	—	—	—	1,65
1,45	1,65	1,51	1,67	1,81	—	—	—	1,75
1,56	1,90	1,62	1,78	1,92	—	—	—	1,86
1,68	2,22	1,74	1,90	2,04	—	—	—	1,98
1,81	2,57	1,87	2,03	2,17	—	—	—	2,11
1,95	2,99	—	—	—	—	—	—	2,25
2,1	3,46	—	—	—	—	—	—	2,40
2,26	3,99	—	—	—	—	—	—	2,56
2,44	4,7	—	—	—	—	—	—	2,74
2,63	5,44	—	—	—	—	—	—	2,93
2,83	6,3	—	—	—	—	—	—	3,16
3,05	7,09	—	—	—	—	—	—	3,35

2. Данные выпрямительных ламп

Таблица 12

№ по пор.	Название лампы (кенотрона)	Тип кенотрона	Тип катода	Напряжение накала в *в*	Ток накала в *а*	Переменное напряжение на 1 анод в *в*	Внутреннее сопротивление R_0 в *ом*	Выпрямленный ток	Примечание
1	ВО-116	Двуханодный	Прямой	4,0	2	400	375	0,115	
2	ВО-125	„	„	4,0	0,7	250	500	0,03	
3	ВО-188	„	„	4,0	2,2	500	120	0,15	
4	ВО-202	„	„	4,0	0,7	300	500	0,05	
5	ВО-230	Одноанодный	„	4,0	0,7	300	220	0,05	
6	5Ц4-С	Двуханодный	Подогревный	5,0	2	400	200	0,125	
7	6Х5	„	„	6,3	0,6	450	150	0,07	
8	80	„	Прямой	5,0	2,0	500	175	0,125	
9	82	„	„	2,5	3	550	<130	0,115	Газотрон
10	83	„	„	5,0	3	550	<100	0,225	Газотрон
11	5Z3	„	„	5,0	2,0	550	150	0,225	
12	5U4	„	„	5,0	3,0	550	100	0,225	
13	25Z6	„	Подогревный	25	0,3	235	225	0,075	
14	30Ц6С	„	„	30	0,3	235	225	0,075	
15	83V	„	„	5	2	500	140	0,175	

3. Данные газотронов

Таблица 13

№ по пор.	Название лампы	Тип лампы	Тип катода	Напряжение накала в *в*	Ток накала в *а*	Максим. обратное напряжение в *в*	Выпрямленный ток в *а*
1	ВГ-161	Одноанодная	Прямой	2,5	5	2 000	0,35
2	ВГ-129	„	„	2,5	8—10	5 000	0,6
3	ВГ-130	„	„	2,5	20	10 000	4
4	ВГ-176	Двуханодная	„	2,5	11—12	150	6

4. Данные фабричных выходных трансформаторов

Таблица 14

№ по пор.	Тип трансформатора	Сечение сердечника в $см^2$	Тип пластин	I обмотка: Провод d в *мм*	I обмотка: Число витков	II обмотка: Провод d в *мм*	II обмотка: Число витков	Дополнительные обмотки	Примечания
1	СВД-1	5,8	Ш-20	ПЭ-0,1	975×2	ПЭ-0,47	38	—	L_1=24 *гн*, R_I=550 *ом*, R_{II}=0,5 *ом* (к № 1, 2)
2	СВД-М	6,8	Ш-20	ПЭЛ-0,1	975×2	ПЭ-0,47	24	—	
3	СВД-9	4	Ш-14	ПЭ-0,19	2 770	ПЭ-0,8	82	ПЭ-0,27 510 *в*	$l_в$=0,05 *мм*. Тонкорректир. обмотка
4	6Н-1	3,2	Ш-18	ПЭ-0,13	2 660	ПЭ-0,69	48	—	L_1=5 *гн*, I_{a0}=0,035 *а*, R_I=385 *ом*, R_{II}=0,8 *ом* (к № 4, 5)
5	6Н-19	3,2	Ш-18	ПЭ-0,13	2 670	ПЭ-0,69	48	—	
6	Д-11	3,8	Ш-19	ПЭ-0,12	1 850×2[1]	ПЭ-0,7	82	ПЭ-0,12 605 *в*	Тонкорректир. обмотка
7	7Н-27	5,0	Ш-18	ПЭ-0,13	2 000×2[1]	ПЭ-0,5	50	—	
8	VEF-557	4	Ш-20	ПЭЛ-0,13	3 200	ПЭЛ-0,7	66	—	
9	„Пионер"	3,5	Ш-18	ПЭ-0,14	3 500	ПЭ-0,77	78	—	
10	9Н-4	3,3	Ш-18	ПЭ-0,13	2 660	ПЭ-0,69	48	—	L_1=6 *гн*, I_{a0}=0,035 *а*
11	„Ленинград" . . .	3,8	Ш-19	ПЭЛ-0,12	1 850×2[1]	ПЭ-0 8+ПЭ-0,12	92+308	—	Отвод от 7 витка для негативн. обратн. связи
12	„Москвич"	3,5	Ш-16	ПЭЛ-0,12	2 500	ПЭЛ-0,69	54	—	L_1=5 *гн*, R_I=320 *ом*, R_{II}=0,26 *ом* (к № 12, 13)
13	„Рекорд"	2,6	Ш-16	ПЭЛ-0,12	1 800	ПЭЛ-0,55	32+530	—	
14	ТВ-30	6,0	Ш-19	ПЭ-0,15	2 500	ПЭ-0,75	56+59	—	
15	ТВ-31	6,0	Ш-19	ПЭ-0,13	6 000	ПЭ-0,75	156	—	
16	ПГУ-1	8,0	Ш-21	ПЭ-0,15	1 100×2[1]	ПЭ-1,35	25	—	
						ПЭ-0,77	59	—	
						ПЭ-0,47	74	—	
17	„Родина"	5,0	Ш-18	ПЭЛ-0,1	2 000×2[1]	ПЭ-0,8	33	—	
18	„Салют"	5	Ш-20	ПЭЛ-0,12	4 000	ПЭ-0,6	88	—	
19	„Урал"	4	Ш-19	ПЭЛ-0,15	2 700	ПЭЛ-0,63	613	—	
20	„Минск"	4	Ш-19	ПЭН-0,12	3 000	ПЭН-0,8	70	—	
21	„Нева"	4	Ш-19	ПЭН-0,18	2 000	ПЭН-0,83	63	—	
22	ЭС-2	4,5	Ш-19	ПЭН-0,13	2 360+840	ПЭН-0,9	56	—	
23	VEF-1357	4	Ш-20	ПЭН-0,14	1 350×2[1]	ПЭН-0,6	123	—	

Примечание: *1* — двухтактный оконечный каскад

Таблица 15

5. Данные фабричных сглаживающих дросселей

№ по пор.	Тип дросселя	Сечение сердечника в *см*²	Тип пластин	Обмотка		Сопротивление в *ом*	Индуктивность *гн*	Ток *а*	Примечание
				Провод *d* в *мм*	Число витков				
1	СВД-1	2,1	Ш-14	ПЭ-0,12	6 800	1 000	20	0,04	
2	СВД-М	2,1	Ш-14	ПЭ-0,13	6 500	900	20	0,04	
3	СВД-9	2,3	Ш-14	ПЭ-0,17	1 840	120	2,4	0,12	
4	ДС-5	5,4	Ш-20	ПЭ-0,15	5 600	800	24	0,05	$l_в = 0{,}2$ *мм*
5	ДС-6	5,4	Ш-20	ПЭ-0,18	4 000	320	11	0,08	„ 0,2
6	МД-8	20	Г-36	ПЭ-0,38	4 900	190	10—12	0,25	
7	В-10	7,5	Ш-25	ПЭ-0,25	4 000	300	15	0,1	
8	ФД-1	7,5	Ш-30	ПЭ-0,18	10 000	1 000	20	0,07	
9	МД-7	13,5	Ш-30	ПЭ-0,35	4 500	200	10	0,2	
10	ДМ-1	12	Ш-30	ПЭ-0,3	6 000	140	8—10	0,15	
11	Пионер*	5	Ш-18	ПЭ-0,2	4 000	300	10—12	0,06	
12	ДВ-16	8,6	Ш-20	ПЭ-0,2	7 000	650	15	0,06	
13	Д-3 1в	10	Ш-32	ПЭ-0,35	6 000	300	8—10	0,17	
14	Д-3 2в	8,6	Ш-20	ПЭ-0,2	7 000	650	20	0,06	
15	ПГУ-1	5,3	Ш-21	ПЭ-0,29	3 000	120	10	0,13	Iв—1-й вариант
16	ЭС-2	4,5	Ш-18	ПЭ-0,18	3 000	215	5	0,07	2в—2-й вариант

6. Данные фабричных

№ по пор.	Тип трансформатора	Мощность трансформатора	Сечен. сердечника в $см^2$	Тип пластин	Первичная (сетевая)	
					Провод (марка и диаметр в *мм*)	Число витков
1	СВД-1 . . .	120	23,6	Ш-32	ПЭ-0,51+ ПЭ-0,72	232 × 2 + 36
2	СВД-М . . .	120	23,6	Ш-32	ПЭ-0,51+ ПЭ-0,72	232 × 2 + 36
3	СВД-9 . . .	100	21,1	Ш-32	ПЭ-0,44+ ПЭ-0,57	240 × 2 + 37
4	6Н-1	70	11,5	Ш-32	ПЭ-0,33	(400 + 60)× 2
5	6Н-19 (6Н-1) .	70	12	Ш-32	ПЭ-0,35	(400 + 60)×2
6	Д-11	120	25	Ш-32	ПЭ-0,55	201 + 31 + 171
7	ТС-27	160	23	Г-36	ПЭ-0,75	214×2
8	ТС-28	100	15	Г-36	ПЭ-0,59 + ПЭ-0,8	376×2 + 34
9	ТС-29	120	14	Г-36	ПЭ-0,59 + ПЭ-0,8	384×2 + 36
10	7-Н-27[1] . . .	100	14	Ш-30	ПЭ-0,41	(280 + 44) × 2
11	VЭF-557 . . .	50	10	Ш-30	ПЭ-0,5 + ПЭ-0,35	327 + 58 + 315
12	„Пионер" 1в .	50	10	Ш-32	ПЭ-0,33 + ПЭ-0,2	500 + 49 + 294
13	„Пионер" 2в .	50	10	Ш-32	ПЭ-0,4 + ПЭ-0,3	441 + 69 + 376
14	„Ленинград" .	120	25	Ш-32	ПЭ-0,44	202 + 31 × 2
15	„Салют" . . .	75	14,5	Ш-32	ПЭ-0,33	(359 + 55) × 2
16	„Урал" . . .	65	13,4	Ш-32	ПЭЛ-0,31	(400 + 60)×2
17	„Минск" . . .	60	12,5	Ш-32	ПЭН-0,5+ПЭН-0,4	437 + 81 + 400
18	„Нева" . . .	85	12,5	Ш-32	ПЭЛ-0,47	384 + 60 + 340
19	VEF-1357 . .	200	16	Ш-32	ПЭЛ-1,0+ПЭЛ-0,7	1-227 сотв. от 149в 1а-167 соот. от 130в
20	ЭС-2	75	11,2	Ш-32	ПЭЛ-0,33	(400 + 60)×2

[1] Росток.
[2] Имеем 2 вторичных и 2 накальных обмотки для кенотронов.

Таблица 16

силовых трансформаторов

обмотка	Вторичная (повышающая) обмотка				Накальная обм.		Кенотр. обм.	
Напряжение *в*	Провод *d* в *мм*	Число витков	Напряжение *в*	Ток *а*	Провод *d* в *мм*	Число витков	Провод *d* в *мм*	Число витков
110—127—220	ПЭ-0,25	780×2	2×340	0,1	ПЭ-1,25	14	ПЭ-1,4	11,5
110—127—220	ПЭ-0,27	550×2	2×240	0,12	ПЭ-1,45	14,5	ПЭ-0,9	11,5
110—127—220	ПЭ-0,25	735×2	2×305	0,1	ПЭ-1,25	15	ПЭ-0,8	12
110—127—220	ПЭ-0,16	1070×2	2×265	0,05	ПЭ-0,98	26	ПЭ-0,93	20
110—127—220	ПЭ-0,16	1070×2	2×265	0,05	ПЭ-1,0	25	ПЭ-0,93	20
110—127—220	ПЭ-0,18	710×2	2×365	0,09	ПЭ-1,0	13	ПЭ-1,0	10
110—220	ПЭ-0,27	930×4	4×480	0,12	—	—	—	—
110—127—220	—	—	—	—	Имеет 5 обмоток			
110—127—220	ПЭ-0,25	1260×2	2×450	0,1	ПЭ-1,2	15	ПЭ-1,9	14
110—127—220	ПЭ-0,2	900×2	2×350	0,08	ПЭ-1,1	18	ПЭ-0,93	14
110—127—220	ПЭ-0,16	1060×2	2×290	0,08	ПЭЛ-0,9	23	ПЭЛ-0,8	18
110—127—220	ПЭ-0,12	1400×2	2×250	0,04	ПЭ-0,8	35	ПЭ-0,8	28
110—127—220	ПЭ-0,14	1250×2	2×270	0,05	ПЭ-1,0	29	ПЭ-1,0	23
110—127—220	ПЭ-0,15	630×2	2×315	0,07	ПЭ-1,2		ПЭ-1,0	10
	ПЭ-0,12	600×2	2×300	0,04		13	ПЭ-1,0	10
110—127—220	ПЭ-0,17	1200×2	2×390	0,06	ПЭ-1,0	21	ПЭ-0,9	17
110—127—220	ПЭЛ-0,15	1320×2	2×320	0,07	ПЭЛ-0,8	26	ПЭЛ-0,8	20
110—127—220	ПЭН-0,15	1130×2	2×270	0,06	ПЭН-0,9	30	ПЭН-0,9	25
110—127—220	ПЭЛ-0,23	1100×2	2×290	0,12	ПЭН-1,0	25	ПЭН-1,0	20
110—127—220	ПЭЛ-0,29	650×2	2×340	0,15	ПЭН-1,6	12	ПЭН-1,0	10
110—127—220	ПЭЛ-0,18	865×2	2×220	0,07	ПЭН-1,0	26	ПЭН-1,0	20

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Проверка трансформаторов и дросселей. Готовые обмотки обычно до сборки сердечника подвергаются испытаниям, которые проводятся в следующем порядке.

1. При помощи омметра или моста для измерения сопротивлений или методом вольтметра-амперметра определяется величина сопротивления постоянному току и проверяется отсутствие обрывов в обмотках. При отсутствии омметра или мостика проверку на обрыв можно осуществить при помощи «пробника», составленного из имеющегося в наличии какого-либо измерительного прибора, например вольтметра, и сухой батарейки с небольшим напряжением (3—5 *в*).

2. Проверяются обмотки на наличие короткозамкнутых витков прибором, схемы и данные которого приведены в § 2.

Если наличия короткозамкнутых витков не будет обнаружено, то трансформатор можно подвергнуть дальнейшим операциям: пропитке обмоток в компаунде, сборке сердечника и т. д. При наличии короткозамкнутых витков трансформатор необходимо перемотать.

В целях экономии времени и материалов каждую обмотку трансформатора принято подвергать проверке на наличие короткозамкнутых витков при самом процессе намотки.

3. Производится испытание на пробой изоляции между обмотками, для чего к обмоткам через контрольный прибор — вольтметр — подводится высокое напряжение, по величине превосходящее рабочее в 3—4 раза.

4. При наличии необходимых измерительных приборов проверяются напряжения на обмотках.

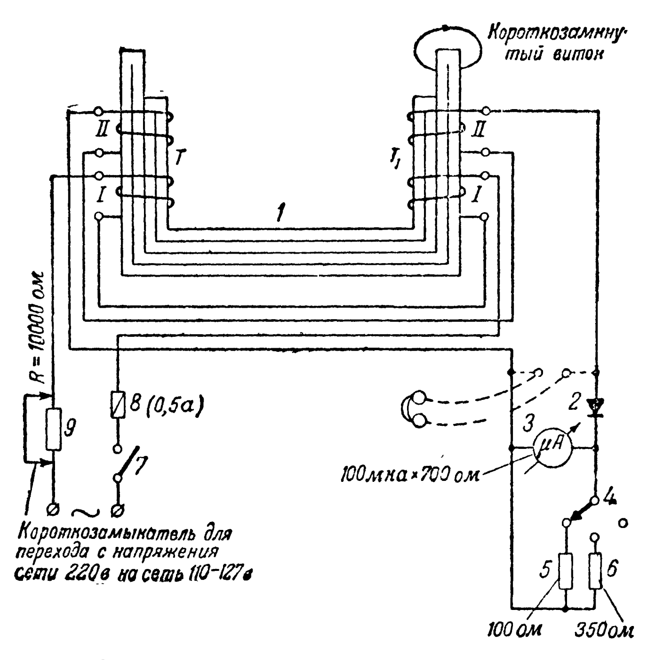
5. Для трансформаторов и дросселей, работающих с постоянным подмагничивающим током, в ряде случаев целесообразно проверить измерением величину индуктивности собранной детали. Для этого можно воспользоваться установкой, схема и данные которой приведены в § 3.

Если в результате проверки будет установлена полная пригодность трансформатора или дросселя, то можно их монтировать в схему устройства.

2. Анализатор короткозамкнутых витков в катушках. Этот прибор служит для определения в катушках корот-

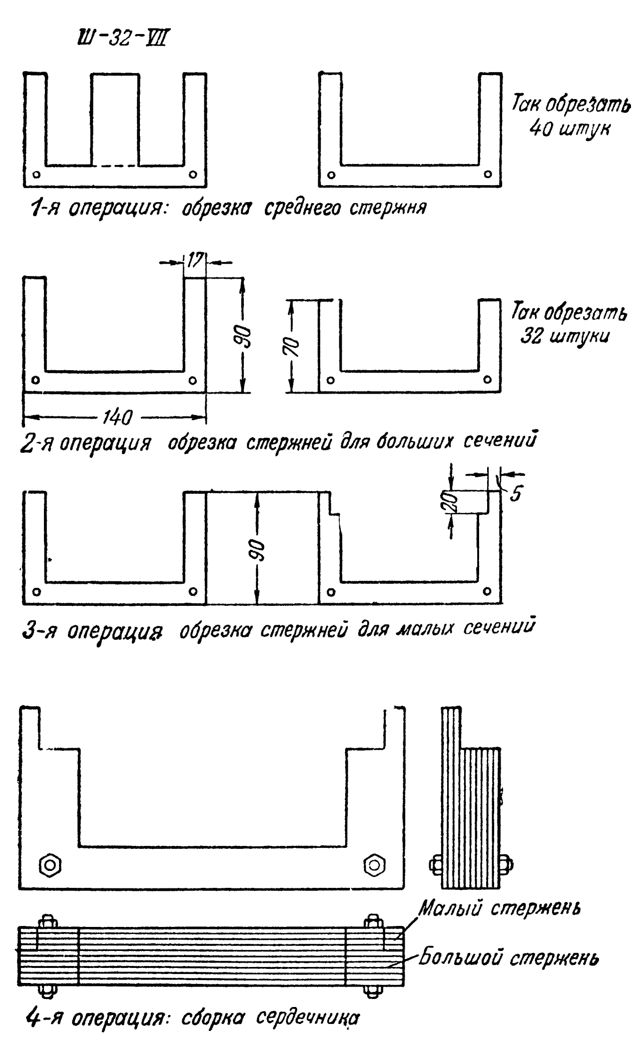
козамкнутых витков. Действие прибора основано на использовании электрической асимметрии системы двух трансформаторов, расположенных на одном сердечнике и соединенных последовательно.

Схема прибора представлена на фиг. 26. К первичным обмоткам трансформатора *1* подводится переменный ток от сети (частотой 50 *гц*) или переменный ток от лам-



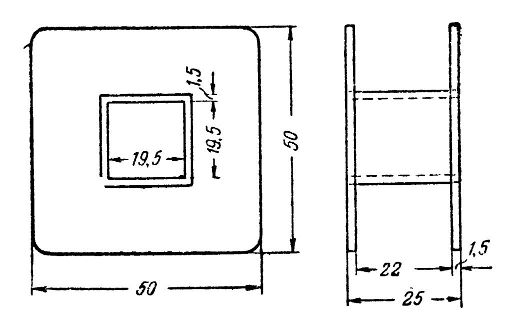
Фиг. 26. Схема анализатора короткозамкнутых витков.

пового звукового генератора или зуммера-трансформатора от полевых телефонных аппаратов УНА-Ф-42м. Первичные обмотки включаются последовательно таким образом, чтобы они создавали в сердечнике общий магнитный поток. Во вторичных обмотках, включаемых навстречу друг другу, индуктируются напряжения, взаимно компенсирующие друг друга. В контрольной цепи, состоящей из детектора *2*, микроамперметра *3* с шунтами *6* и *5*, коммутируемыми переключателем *4*, обычно напряжения нет, и прибор не дает никаких показаний. В до-



Фиг. 27. Сердечник анализатора короткозамкнутых витков.

полнительной контрольной цепи состоящей из телефона, также ничего не будет слышно; контролировать действие схемы телефоном можно только в тех случаях, когда анализатор питается от звукового генератора током частотой не менее 200—300 *гц*. Положение резко изменится, если в образуемое любым стержнем магнитное поле ввести короткозамкнутый виток. Присутствие такого витка изменяет из-за увеличения потерь и рассеяния симметрию вторичных обмоток трансформатора и напряжения, действующие на зажимах вторичных обмоток, не будут уже равны, появляющаяся разность на-



Фиг. 28. Каркасы трансформаторов.

пряжений будет воздействовать на контрольную цепь и вызовет отклонение стрелки микроамперметра или появление звука в телефоне.

Для предохранения микроамперметра от повреждения предусмотрены шунты, с помощью которых можно ступенями изменять чувствительность анализатора. Работу с прибором всегда нужно начинать с положения наименьшей чувствительности.

Сердечник трансформатора собирается из пластин Ш-32-VII, имеющих размеры $a = 3{,}2$ *см*, $z = 3{,}5$ *см* и $y = 7$ *см*. Обработка пластин показана на фиг. 27. Эскиз каркаса для трансформаторов показан на фиг. 28.

Пользование прибором крайне простое. Прибор включают в сеть переменного тока или подключают к ламповому генератору либо зуммеру. На любой стержень осторожно надевают намотанную катушку и наблюдают за показаниями стрелки прибора или за появлением звука в телефоне. Если стрелка прибора отклоняется, или в

телефоне появляется звук,— это говорит о наличии в катушке короткозамкнутых витков.

Следует помнить, что необходимо возможно дальше располагать от сердечника трансформатора стальные предметы, реагирующие на создаваемое сердечником магнитное поле.

3. **Измерения величины индуктивности катушек с постоянным подмагничивающим током.** Простая схема, которая позволяет измерять величину индуктивности обмоток при наличии подмагничивающего тока, представлена на фиг. 29. Принцип работы схемы состоит в следующем. В цепь, состоящую из измеряемой детали (трансформатора или дросселя) L_x и эталонного сопротивления $R_{эт}$, проходит через контрольный миллиамперметр mA, переменное сопротивление R, дроссели L_1 и L_2 постоянный подмагничивающий ток I_0, сила которого контролируется прибором mA и регулируется переменным сопротивлением R. От сети переменного тока с частотой 50 *гц* или от другого источника, например от звукового генератора или зуммера-трансформатора телефонного типа, в цепь измеряемой детали L_x и эталонного сопротивления $R_{эт}$ подается через разделительные конденсаторы C_1 и C_2 переменное напряжение, которое распределится между индуктивностью L_x и сопротивлением $R_{эт}$. С помощью вольтметра переменного тока (купроксного или лампового), включаемого также через разделительный конденсатор C_3, определяют падения переменных напряжений $U_{L\,x}$ и $U_{R\,эт}$ соответственно на измеряемой детали L_x и на сопротивлении $R_{эт}$. Зная эти напряжения, величину индуктивности измеряемой детали можно определить по формуле

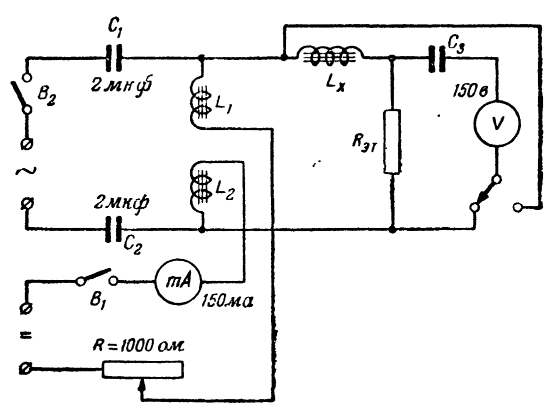
$$L_x = \frac{1}{\omega}\sqrt{Z^2 - R_0^2},$$

где L_x — индуктивность в *гн*;
ω — угловая частота $= 2\pi f = 6{,}28 f$;
Z — полное сопротивление измеряемой детали;
R_0 — омическое сопротивление измеряемой детали, измеренное омметром, мостиком или методом вольтметра и амперметра.

Полное сопротивление Z переменному току измеряемой детали L_x находят по формуле

$$Z = \frac{U_{L_x}}{U_{R_{эт}}} \cdot R_{эт}.$$

Схема позволяет измерять индуктивность различных обмоток со стальным сердечником и без подмагничивания током. Для этого цепь подмагничивания необходимо разорвать при помощи выключателя B_1.



Фиг. 29. Схема для измерения величин индуктивностей катушек.

Пример. Требуется определить индуктивность первичной обмотки междулампового трансформатора при подмагничивающем токе $I_0 = 0{,}01$ *а*. Расчетные данные определяют величину индуктивности $L = 30$ *гн*. Величина сопротивления R_0 измеряемой детали — 1 000 *ом*. Величина сопротивления $R_{эт}$ — 9 000 *ом*.

Измерение падения напряжения на катушке L_x дало $U_{L_x} = 50$ *в* (при частоте переменного напряжения 50 *гц*). Измерение падения напряжения на сопротивлении $R_{эт}$ дало $U_{R_{эт}} = 50$ *в*. Находим:

$$Z = \frac{U_{L_x}}{U_{R_{эт}}} R_{эт} = \frac{50}{50} \cdot 9\,000 = 9\,000 \text{ ом}.$$

Следовательно,

$$L_x = \frac{1}{\omega}\sqrt{Z^2 - R_0^2} = \frac{1}{2\cdot 3{,}14\cdot 50}\sqrt{9\,000^2 - 1\,000^2} =$$

$$= 0{,}0031\sqrt{81\cdot 10^6 - 10^6} = 0{,}0031\sqrt{80\cdot 10^6} =$$

$$= 0{,}0031\cdot 8\,960 \approx 26{,}88 \text{ гн}.$$

Измерение показывает, что реальная индуктивность меньше расчетной на $\Delta L = 30 - 26{,}88$ *гн* $= 3{,}12$ *гн*, т. е. расхождение более 10%. Это может быть, например, в случае применения трансформаторной стали пониженного качества, имеющей меньшую магнитную проницаемость, чем было учтено расчетом.

Конструктивные данные деталей и схемы. Для схемы фиг. 29 практически приходится изготовить только два дросселя L_1 и L_2, назначение которых — защищать цепь источника постоянного тока от попадания в него переменного напряжения. Дроссели L_1 и L_2 должны обладать возможно большей индуктивностью и иметь возможно меньшее сопротивление постоянному току.

Данные дросселей: пластины Ш-25-V, толщина пакета 50 *мм*; сечение сердечника $Q_c = 11$ *см*; обмотка имеет 4 000 витков провода ПЭН ϕ 0,35 *мм*; омическое сопротивление дросселя $R = 100$ *ом*; воздушный зазор сердечника $l_в = 0{,}3$ *мм*; $L = 10$ *гн*.

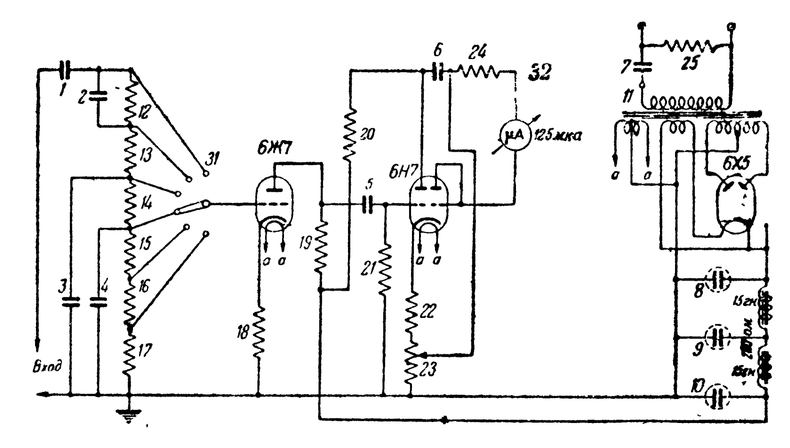
Остальные детали схемы: конденсаторы, приборы, переключатели, не трудно найти готовыми. В качестве эталонного сопротивления $R_{эт}$ можно использовать любое проволочное сопротивление известной величины или, что даже удобнее, переменное сопротивление (реостат типа „Рустрат") на 10 000 *ом*, которое можно проградуировать в омах.

Примечание. При работе с ламповым генератором или зуммером необходимо знать их частоту колебаний.

4. Измерение пульсаций в выпрямителях. Измерение пульсаций в выпрямителях производится ламповым вольтметром с широким пределом измерений от 0,05 до 500 *в*.

Кроме того, при измерении пульсаций легко можно определить и величины емкостей конденсаторов.

Схема лампового вольтметра с двухкаскадным усилителем, предусмотренным для повышения чувствительности и получения возможности измерения небольших по величине напряжений, приведена на фиг. 30. Данные деталей, входящих в схему прибора, приведены



Фиг. 30. Схема низкочастотного лампового вольтметра с резонансным трансформатором.

1 — C = 0,01 *мкф*; *2* — C = 200 *мкмкф*; *3* — C = 150 *мкмкф*; *4* — C = 100 *мкмкф*; *5* — C = 0,1 *мкф*; *6* — C = 0,7 *мкф*; *7* — C = 4 *мкф*; *8*, *9*, *10* — C = 10 *мкф*; *11* — резонансный трансформатор; *12* — 4 *мгом*; *13* — 0,5 *мгом*; *14* — 0,4 *мгом*; *15* — 75 000 *ом*; *16* — 20 000 *ом*; *17* — 500 *ом*; *18* и *23* — 3 000 *ом* (проволочное); *19* — 26 000 *ом*; *20* — 10 000 *ом*; *21* — 1,5 *мгом*; *22* — 500 *ом* (проволочное); *24* — 2 000 *ом*; *25* — 0,1 *мгом*.

в спецификации. Измеряемое переменное напряжение подается на управляющую сетку первой лампы 6Ж7, включенной триодом (экранная и противодинатронная сетки соединены с анодом). На входе первой лампы включен делитель напряжения, составленный из сопротивлений *13*, *14*, *15*, *16* и *17*. Переключателем *31* на сетку подается часть измеряемого напряжения, т. е. обеспечивается изменение пределов измеряемого напряжения. Конденсаторы *5*, *6*, *7* предусмотрены для корректировки частотной характеристики входа. Первый каскад усиления напряжения лампового вольтметра осуществлен по обычной реостатной схеме. Смещение на управляющую сетку 6Ж7 подается автоматически падением напряжения на сопротивлении *18*. Сопротивление *19* является элементом анодной нагрузки лампы

6Ж7. Конденсатор *8* служит элементом связи между первым и вторым каскадами. Сопротивление *21* является утечкой сетки лампы второго каскада.

Во втором каскаде используется половина сдвоенного триода 6Н7, другая часть которой включена как диод и используется для выпрямления измеряемого тока, питающего контрольный прибор *32*.

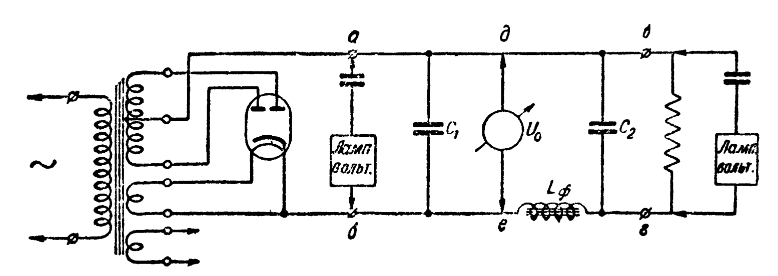
Сопротивление *20* служит элементом анодной нагрузки усилительного триода. Смещение на управляющую сетку усилительного триода 6Н7 подается автоматически падением напряжения на сопротивлениях *22* и *23*. Сопротивление *23* переменное и одновременно используется для установки на „нуль“ положительного прибора *32*.

Сопротивление *24*, включенное последовательно с прибором, является ограничительным.

Питание лампового вольтметра производится от сети переменного тока выпрямителем с резонансным трансформатором. Питание нитей подогрева усилительных ламп производится переменным током от понижающей, накальной обмотки.

Фильтр, сглаживающий пульсации, — двухзвенный. Ламповый вольтметр имеет линейную шкалу и позволяет измерять напряжения в пределах 0,05—500 *в* в полосе частот 20—5 000 *гц*.

5. Включение вольтметра и метод измерения пульсаций. Схема включения вольтметра для измерения пульсаций приведена на фиг. 31. Выпрямитель при измерении пульсаций должен быть нагружен током нормальной силы.



Фиг. 31. Схема включения лампового вольтметра при измерении пульсации выпрямителя.

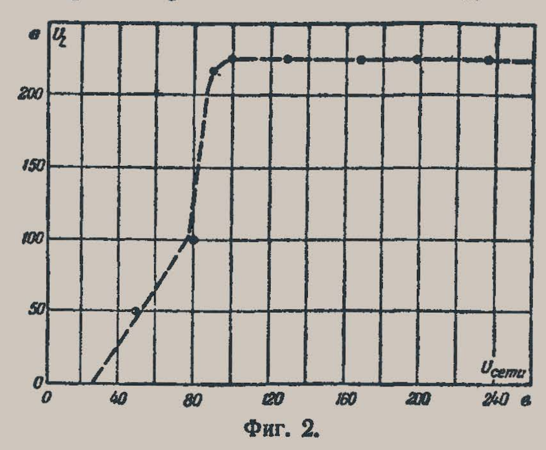
Вначале ламповый вольтметр включают между точками *а* и *б* и измеряют величину пульсации на входе фильтра U'_p; измеряя вольтметром постоянного тока величину выпрямленного напряжения U_0 (точки *д — е*), можно определить отношение $\frac{U'_p}{U_0}$.

Затем ламповый вольтметр перемещают в точки *в — г* и измеряют величину пульсации U_p на выходе выпрямителя, после фильтра.

Отношение $\frac{U'_p}{U_p}$ определяет коэффициент фильтрации пульсаций α.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Регулировочная характеристика резонансного трансформатора приведена на фиг. 2. Предельная мощность, которую можно получить от питающего устройства с резонансным трансформатором, не превосходит в обычных условиях 40—50 *вт*.



Фиг. 2.

Реально осуществленный резонансный трансформатор (по схеме фиг. I) для питания лампового вольтметра, требующего для нормальной работы по цепи низкого напряжения 6 *в* при токе 1 *а* и в цепи высокого напряжения — 200 *в* при токе 0,025 *а* имел следующие данные: пластины Ш-20-Ш, толщина пакета $b = 40$ *мм* (размеры пластин: $a = 2$ *см*; $z = 1{,}6$ *см*; $y = 5{,}7$ *см*; $l_c = 19{,}6$ *см*).

I обмотка—800 витков, провод 0,5 ПЭЛ.

II обмотка—2 × 1 250 витков, провод 0,14 ПЭЛ.

III и IV обмотки—45 витков, провод 0,8 ПЭЛ.

Индуктивность первичной обмотки

$$L = 350 \frac{w^2_1 \cdot Q_c \cdot 10^{-8}}{l_c} = \frac{350 \cdot 800^2 \cdot 7{,}2 \cdot 10^{-8}}{19{,}6} = 0{,}84 \text{ гн.}$$

Величина емкости 2

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{98\,596 \cdot 0{,}84} = 0{,}000012 \text{ ф} = 12 \text{ мкф},$$

т. е. для получения данной емкости необходимо соединить параллельно 6 конденсаторов по 2 *мкф* каждый.